

FACULDADE DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS – FATECS
CURSO: ENGENHARIA CIVIL

BÁRBARA MACÊDO FERREIRA
RA: 21159560

**ANÁLISE QUANTITATIVA DA PONTE DO BRAGUETO – DF
UTILIZANDO A METODOLOGIA GDE/UnB**

**Brasília
2016**

BÁRBARA MACÊDO FERREIRA

**ANÁLISE QUANTITATIVA DA PONTE DO BRAGUETO – DF
UTILIZANDO A METODOLOGIA GDE/UnB**

Trabalho de conclusão de curso apresentado junto ao curso de Engenharia Civil do Centro Universitário de Brasília - UniCEUB como um dos requisitos à obtenção do Título de Engenheiro Civil.

Orientadora: Eng.^a Civil Irene de Azevedo Lima Joffily, M.Sc.

**Brasília
2016**

BÁRBARA MACÊDO FERREIRA

**ANÁLISE QUANTITATIVA DA PONTE DO BRAGUETO – DF
UTILIZANDO A METODOLOGIA GDE/UnB**

Trabalho de conclusão de curso apresentado junto ao curso de Engenharia Civil do Centro Universitário de Brasília - Uniceub como um dos requisitos à obtenção do Título de Engenheiro Civil.

Orientadora: Eng.^a Civil Irene de Azevedo Lima Joffily, M.Sc.

Brasília, 27 de junho de 2016.

Banca Examinadora

Eng.^a Civil Irene de Azevedo Lima Joffily, M. Sc.
Orientador

Eng. Civil: Jocinez Nogueira Lima, M. Sc.
Examinador Externo

Eng. Civil: João da Costa Pantoja, D. Sc.
Examinador Externo

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha gratidão à professora Irene de Azevedo Lima Joffily pela orientação, atenção e paciência durante a execução deste trabalho.

Aos meus professores do UniCEUB, por todo ensinamento. Em especial, aos professores Marco Bessa e João C. Pantoja.

Aos meus pais, Ana e Rogério, pelo apoio, carinho e confiança incondicional, por todo auxílio, por estarem ao meu lado em todos os momentos, não apenas de forma literal, por todas as oportunidades que nunca mediram esforços para me proporcionar e, principalmente, pela imensa compreensão. Agradeço a Deus pela vida de vocês.

Ao Felipe Gaspar, que me acompanhou e auxiliou por todo o processo da graduação, pela compreensão, por achar soluções em momentos que julguei não tê-las, pelo companheirismo e todo carinho.

Às pessoas que tornaram a execução deste trabalho uma etapa prazerosa, por todo o auxílio, paciência, e companheirismo durante esses dez longos semestres, minhas grandes amigas Thayane, Jéssica, Luana (Sol) e Karen.

Aos meus colegas de curso. A todos os meus familiares e amigos. A todos que fizeram parte, direta ou indiretamente, da minha formação.

Muito obrigada!

RESUMO

É imprescindível para uma estrutura de concreto que manutenções preventivas e corretivas sejam realizadas ao longo de sua vida útil, a fim de conservá-la contra os agentes agressivos do meio ambiente. A falta de uma gestão eficiente dessas manutenções compromete o desempenho previsto da estrutura. Tal circunstância ocorre pela carência de intervenções, por manutenções falhas ou realizadas no período incorreto e, até mesmo, pela falta de um parâmetro adequado para defini-las e priorizá-las. A partir deste problema, este trabalho propõe a aplicação da Metodologia GDE/UnB para análise da Ponte do Bragueto – DF com intuito de analisar a sua eficiência como ferramenta de avaliação de estruturas de concreto, assim como base para gestão de atividades de manutenção necessárias. Foi possível concluir que a ponte está em situação sofrível, com incidências predominantes de manchas escuras e indícios de umidade, necessitando de intervenções em curto prazo.

Palavras-chave: Manifestação patológica, inspeção, pontes, manutenção, deterioração.

ABSTRACT

It is essential for a concrete structure that preventive and corrective maintenance are carried throughout its life in order to preserve it against aggressive environmental agents. The lack of efficient management of these maintenance compromises the expected performance of the structure. This circumstance occurs by the lack of interventions, by maintenance failures or performed in the wrong period and even the lack of a suitable parameter to define and prioritize them. From this problem, this paper proposes the implementation of GDE/UnB Methodology for analysis of Bragueto Bridge - DF in order to analyze its efficiency as an evaluation tool of concrete structures, as well as the basis for management of necessary maintenance activities. It was concluded that the bridge is in unsafe situation, with predominant effects of dark spots and signs of moisture, requiring short-term interventions.

Keywords: Pathological manifestation, inspection, bridges, maintenance, deterioration.

Sumário

1.	Introdução.....	1
1.1.	Problema de pesquisa	2
1.2.	Objetivos	2
1.2.1.	Objetivo Geral	2
1.2.2.	Objetivos Específicos.....	2
1.3.	Hipótese	2
1.4.	Justificativa.....	2
1.5.	Estrutura do trabalho.....	3
2.	Revisão Bibliográfica	5
2.1.	Durabilidade e vida útil de estruturas de concreto armado	5
2.2.	Manifestações patológicas em concreto armado	8
2.3.	Vistorias em pontes de concreto	9
2.3.1.	Tipos de inspeção	11
2.3.1.1.	Inspeção cadastral	11
2.3.1.2.	Inspeção rotineira.....	12
2.3.1.3.	Inspeção especial	13
2.3.1.4.	Inspeção extraordinária.....	14
2.3.2.	Crterios de classificação das OAEs	14
2.4.	Metodologia GDE/UnB.....	17
3.	Metodologia	27
3.1.	Seleção da obra de arte a ser inspecionada	27
3.2.	Considerações e ajustes da metodologia	30
3.2.1.	Adaptações à metodologia GDE/UnB para a análise da ponte selecionada.....	30
3.2.2.	Considerações sobre os elementos estruturais da ponte ...	32
3.3.	Inspeção da OAE escolhida	33
3.3.1.	Preparativos para a inspeção	33
3.3.2.	Procedimentos de inspeção	34
3.3.3.	Análise e consistência dos dados	35
3.4.	Resultados e análises	35
3.4.1.	Valores de Gd	35
3.4.2.	Avaliação da metodologia GDE	36
4.	Apresentação e análise dos resultados	37
4.1.	Situação da OAE.....	37
4.2.	Análise dos graus de deterioração dos elementos.....	39

4.3.	Metodologia de Castro (1994) e adaptação de Fonseca (2007)	41
4.4.	Adaptação de Euqueres (2011) e Verly (2015)	43
4.5.	Incidência dos danos identificados na ponte.....	44
5.	Conclusão.....	46
5.1.	Sugestões para trabalhos futuros	47
6.	Referências bibliográficas.....	48
	APÊNDICE A - Relatório de aplicação da Metodologia GDE/UnB	50
	ANEXO A - Manual de Aplicação da Metodologia GDE/UnB a Obras de Arte Especiais	Erro! Indicador não definido.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - CONCEITOS GERAIS CORRELATOS À PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES	7
FIGURA 2 - LEI DOS CINCO (SITTER, 1983).	8
FIGURA 3 - PRINCIPAIS CAUSAS DE DANOS ESTRUTURAIS CORRENTES NO BRASIL	9
FIGURA 4 - IMPORTÂNCIA DA INSPEÇÃO VISUAL A PARTIR DA RELAÇÃO ENTRE AS INFORMAÇÕES OBTIDAS E OS CUSTOS TOTAIS DA INSPEÇÃO	11
FIGURA 5 - FLUXOGRAMA PARA APLICAÇÃO DA METODOLOGIA GDE/UNB.....	19
FIGURA 6 - MODELO DE FICHA DE INSPEÇÃO PARA PILARES.....	20
FIGURA 7 - GRAU DO DANO (D) EM FUNÇÃO DOS FATORES DE INTENSIDADE DE PONDERAÇÃO	22
FIGURA 8 - CLASSIFICAÇÃO DOS NÍVEIS DE DETERIORAÇÃO DO ELEMENTO E RECOMENDAÇÕES EM FUNÇÃO DO VALOR DE GDE	24
FIGURA 9 - FLUXOGRAMA DA METODOLOGIA APLICADA PARA A ANÁLISE.	27
FIGURA 10 - VISTA PANORÂMICA DA PONTE DO BRAGUETO.....	28
FIGURA 11 - VISTA PARCIAL - PONTE DO BRAGUETO - DF.	28
FIGURA 12 - IMAGEM REGISTRADA EM CAMPO DOS DANOS CAUSADOS POR IMPACTO.	29
FIGURA 13 - CAMINHÃO PRESO EMBAIXO DA PONTE DO BRAGUETO	29
FIGURA 14 - CORDAS AMARRADAS EM DIVERSOS PONTOS COM ARMADURA EXPOSTA.	30
FIGURA 15 - VISTA GERAL DA DIVISÃO E LOCALIZAÇÃO DOS ELEMENTOS DA PONTE.....	33
FIGURA 16 - LOCALIZAÇÃO DOS PILARES P1 A P8.....	34
FIGURA 17 - CONDIÇÕES DA PONTE REGISTRADAS DURANTE INSPEÇÕES.....	37
FIGURA 18 - CONDIÇÕES DA PONTE REGISTRADAS DURANTE INSPEÇÃO.....	38
FIGURA 19 - CONDIÇÕES DA PONTE REGISTRADAS DURANTE INSPEÇÃO.....	38
FIGURA 20 - CONDIÇÕES DA PONTE REGISTRADAS DURANTE INSPEÇÃO.....	39
FIGURA 21 - LAJES L2 E L1, RESPECTIVAMENTE.....	41
FIGURA 22 - INCIDÊNCIA DE CADA PATOLOGIA NA PONTE DO BRAGUETO.	45
FIGURA 23 - MANCHAS E INDÍCIOS DE UMIDADE NA LAJE L3.	45

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - MODELO DE FICHA DE INSPEÇÃO ROTINEIRA.....	12
TABELA 2- CLASSIFICAÇÃO DA CONDIÇÃO DA OAE SEGUNDO OS PARÂMETROS ESTRUTURAL, FUNCIONAL E DE DURABILIDADE.	15
TABELA 3 - MODELO DE FICHA DE CLASSIFICAÇÃO DA OAE.....	17
TABELA 4 - FATORES DE RELEVÂNCIA ESTRUTURAL PARA OAES	25
TABELA 5 - CLASSIFICAÇÃO DOS NÍVEIS DE DETERIORAÇÃO DA ESTRUTURA E RECOMENDAÇÕES EM FUNÇÃO DO VALOR DE G_D	26
TABELA 6 - SITUAÇÃO DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS NÃO INSPECIONADOS	32
TABELA 7 - GRAUS DE DETERIORAÇÃO DE CADA ELEMENTO E SEUS RESPECTIVOS NÍVEIS DE DETERIORAÇÃO.....	40
TABELA 8 - RESULTADOS OBTIDOS PELO CONCEITO DE CASTRO (1994)	42
TABELA 9 - RESULTADOS OBTIDOS PELA ADAPTAÇÃO DE EUQUERES (2011)	43
TABELA 10 - QUADRO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS AVALIADAS NA PONTE E SEU NÚMERO DE INCIDÊNCIAS.	44

LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURAS E ABREVIações.

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
D	Grau do dano
Fi	Fator de intensidade do dano
Fp	Fator de ponderação do dano
Fr	Fator de relevância estrutural do elemento
Gd	Grau de deterioração da estrutura
Gde	Grau de deterioração do elemento
Gdf	Grau de deterioração de uma família de elementos
K	Grau de deterioração da família majorado
k	Número de famílias da estrutura
m	Número de elementos de uma família com $Gde \geq 15$
n	Número de danos encontrado em um elemento
OAE	Obra de arte especial
PECC-UNB	Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil da Universidade de Brasília

1. Introdução

Após o grande crescimento da construção civil no país nas últimas décadas, atualmente, existe uma forte preocupação quanto à qualidade e desempenho das estruturas existentes depois de certo tempo de uso. O concreto é o principal material utilizado na construção civil, seu domínio sobre o mercado se deve, sobretudo, a sua versatilidade, resistência e valor econômico. No entanto, o material possui suas limitações e, sem o devido preparo e manutenção, sua durabilidade pode ser prejudicada.

Há alguns anos, as estruturas de concreto, tanto as recém-criadas quanto as mais antigas, começaram a manifestar problemas construtivos que não só representam incômodo ao conforto de seus usuários como também comprometem o seu desempenho. A partir desses impasses, a Construção Civil passou a dar mais atenção à área da Patologia das Construções, esta que estuda os problemas construtivos das estruturas, assim como suas causas, evoluções e soluções.

Tornou-se obrigatório ao projetista determinar a queda natural do desempenho de uma construção. Hoje, sabe-se que é fundamental definir a vida útil de serviço da estrutura e seus materiais e que, para atingi-la, é de extrema importância que manutenções preventivas sejam rotineiramente mantidas. Para isso, é necessário que vistorias sejam realizadas ocasionalmente, determinando a existência de falhas tanto na parte estética quanto no funcionamento das estruturas.

Por conseguinte, esse trabalho apresenta uma das diversas formas de determinar as condições presentes em estruturas de concreto, porém, de maneira específica, aplicada a Ponte do Bragueto, no Distrito Federal. A metodologia GDE foi elaborada no Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil da Universidade de Brasília (PECC-UnB) e permite avaliar quantitativamente o grau de deterioração de estruturas de concreto, analisando as manifestações dos danos e suas evoluções, possibilitando, assim, definir prioridades para realização das manutenções.

1.1. Problema de pesquisa

Qual o estado de deterioração da Ponte do Bragueto situada sobre o lago Paranoá em Brasília?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo Geral

O principal objetivo deste trabalho é determinar o grau de deterioração da Ponte do Bragueto, em Brasília - DF, utilizando a Metodologia GDE/UnB.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Realizar a inspeção visual e verificar as manifestações patológicas externas da ponte;
- Apresentar as principais manifestações patológicas encontradas;
- Apontar quais as falhas e os elementos da estrutura que causaram maior impacto para o resultado final do GDE;
- Determinar as prioridades de intervenções necessárias na ponte analisada a partir do grau obtido pelo método GDE/UnB.

1.3. Hipótese

Espera-se que a metodologia GDE/UnB identifique a Ponte do Bragueto com alto nível de deterioração por falta de reparos preventivos e corretivos.

1.4. Justificativa

A gestão da manutenção das estruturas de concreto armado necessita de parâmetros para auxiliar na definição das prioridades de intervenção. A metodologia GDE/UnB pode ser utilizada como ferramenta para gerir atividades de manutenção corretiva, indicando as falhas e os elementos que possuem maior gravidade e/ou urgência, facilitando a tomada de decisão na ordem técnico-financeira das intervenções.

Portanto, essa análise permite determinar as degradações de forma antecipada, permitindo um planejamento das manutenções preventivas, reduzindo gastos.

1.5. Estrutura do trabalho

O capítulo inicial desta pesquisa discorre, principalmente, sobre sua motivação e seus objetivos.

O capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica necessária para compreensão do tema deste trabalho. Dividida em quatro tópicos, ela abrange os conceitos gerais de durabilidade e vida útil de estruturas de concreto, manifestações patológicas no concreto, as especificações de vistorias de pontes de concreto armado determinadas pela norma NBR 9452/2016 e a metodologia aplicada, GDE/UnB.

O capítulo 3 discorre sobre o processo de realização da análise da ponte do Bragueto, desde a seleção da obra de arte especial a ser inspecionada a verificação dos dados obtidos em campo após a aplicação da metodologia GDE/UnB. Incluem-se, também, as adequações e considerações necessárias a metodologia para sua aplicação neste trabalho.

O capítulo 4 contém a análise das informações obtidas a partir das inspeções, a qual engloba os resultados dos cálculos realizados, a classificação de cada elemento e da estrutura em geral e as respectivas recomendações para intervenção.

O capítulo 5 apresenta as conclusões da pesquisa realizada e sugestões para trabalhos futuros.

Em seguida, no capítulo 6, estão as referências bibliográficas estudadas para realização deste trabalho.

O Apêndice A apresenta o relatório completo da aplicação da metodologia na OAE, incluindo a ficha descritiva da estrutura, todos os dados atribuídos e calculados e o relatório fotográfico..

O Anexo A contém o Manual de Aplicação da Metodologia GDE/UnB a OAEs, adaptação de Verly (2015).

2. Revisão Bibliográfica

2.1. Durabilidade e vida útil de estruturas de concreto armado

Segundo conceito definido pela ISO 6241:1984, durabilidade é o resultado da interação entre a estrutura de concreto, o ambiente e as condições de uso, de operação e de manutenção. Logo, não é uma propriedade característica da estrutura ou do concreto, visto que uma mesma estrutura pode se comportar de maneiras distintas em ambientes diferentes ou submetida a diferentes solicitações.

Em outras palavras, a durabilidade pode ser definida como a capacidade de uma edificação ou estrutura de manter o desempenho acima dos níveis mínimos previamente especificados de modo que satisfaça às exigências dos usuários para o propósito para o qual foi construído, considerando, ainda, suas condições de exposição.

Devido à ampla disponibilidade dos materiais constituintes do concreto e sua fácil preparação, frequentemente, ignora-se a complexidade da sua constituição interna e suas propriedades, estas que são variáveis com as condições temporais e ambientais.

Grande parte dos problemas relacionados à falta de durabilidade das estruturas atuais se deve à mudança das propriedades dos cimentos, problemas de execução e manutenção e falta de conhecimento sobre o comportamento dos materiais. Porém, as características do concreto, apesar de extremamente importantes, não são os únicos parâmetros que influenciam na durabilidade. Ainda incidem sobre ela os agentes agressivos que existem no ambiente.

O conhecimento da durabilidade das estruturas é essencial para prever o comportamento do concreto ao longo de sua vida útil, além de antecipar e prevenir manifestações patológicas.

Entende-se por vida útil o período em que as propriedades de um objeto, material ou estrutura permanecem acima dos limites mínimos especificados, desde que haja uso e manutenção adequada. O conceito de vida útil aplica-se à estrutura como um todo ou às suas partes, podendo existir valores de vida útil diferentes entre elas (NBR 6118/2014).

Como descreve a NBR 15.575 (ABNT, 2013), vida útil é:

“Período de tempo em que um edifício e/ou seus sistemas, elementos e componentes se prestam às atividades para as quais foram projetados e construídos considerando: 1- o atendimento dos níveis de desempenho previstos na NBR 15.575, e 2- a periodicidade e a correta execução dos processos de manutenção especificados no respectivo Manual de Uso, Operação e Manutenção”.

Souza e Ripper (1998) definem desempenho como o comportamento em serviço de um produto, material ou estrutura ao longo da sua vida útil. Em síntese, é o comportamento em relação ao uso. Essa descrição sugere que um material tem desempenho adequado quando as suas propriedades permanecem acima dos limites mínimos específicos durante o período de vida útil.

A manifestação patológica ocorre a partir do comprometimento da capacidade mecânica, funcional ou estética de uma construção. Logo, a sua avaliação depende do comportamento, do tempo e das condições de exposição da estrutura, o que a torna associada aos conceitos de durabilidade, vida útil e desempenho, como mostra a Figura 1 (ANDRADE E SILVA, 2005).

Figura 1 - Conceitos gerais correlatos à patologia das construções

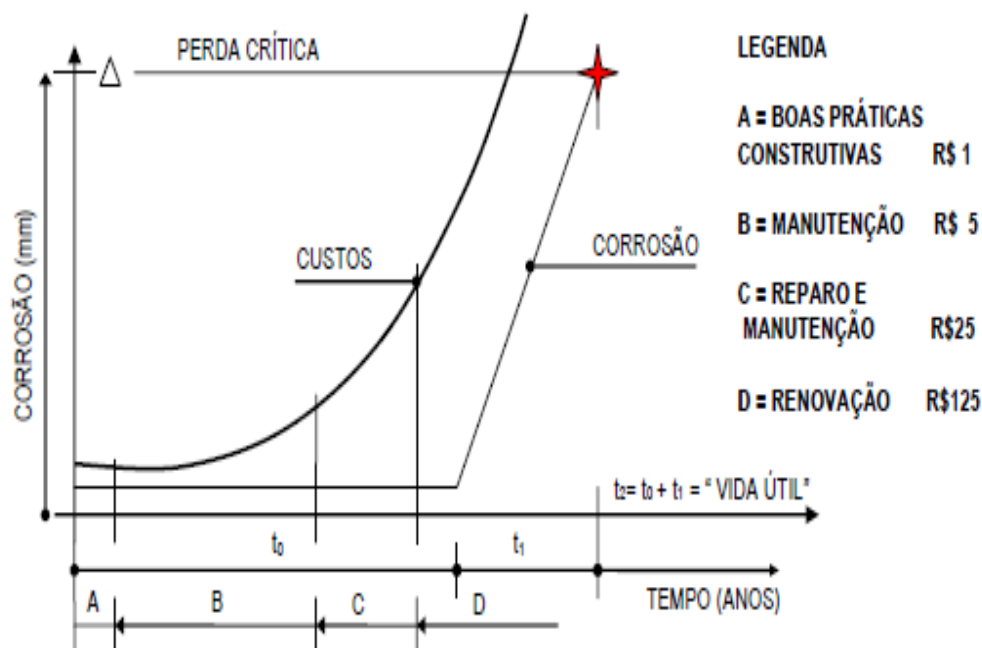


Fonte: ANDRADE E SILVA, 2005.

Tais conceitos têm vínculo direto com os custos de recuperação de estruturas de concreto. Por conseguinte, a Lei dos Cinco, formulada por Sitter (1983), determina a evolução dos custos com reabilitações de construções durante todas as suas etapas, demonstrando a importância de qualidade nas etapas de projeto e execução e apresentando a indispensabilidade das manutenções preventivas ao longo da vida útil da estrutura em relação à economia de custos.

A Lei de Sitter divide em quatro as fases de uma estrutura: fases de projeto, execução, manutenção preventiva e manutenção corretiva. Os custos de correção crescem em uma progressão geométrica de ordem 5 a cada fase, o que significa que, quanto mais tarde houver intervenção, maior será o valor gasto, como expressa a Figura 2.

Figura 2 - Lei dos Cinco (SITTER, 1983).



Fonte: Adaptado por Andrade e Silva (2005).

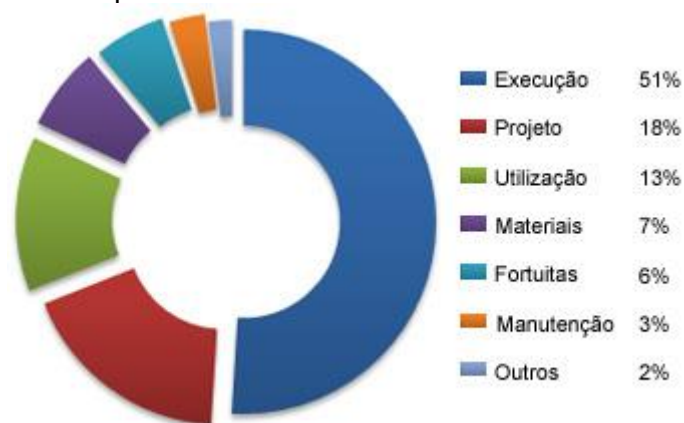
2.2. Manifestações patológicas em concreto armado

O concreto armado sofre alterações ao longo do tempo em função da interação entre seus materiais constituintes: cimento, água, agregados miúdos e graúdos, aditivos, etc. Além disso, existem vários agentes agressivos externos que influenciam na sua durabilidade.

A Patologia das construções irrompeu da necessidade de entendimento, estudo e soluções para as diversas deteriorações estruturais que surgiram ao longo do tempo. Helene (1992) define como patologia a área da Engenharia que estuda os sintomas, os mecanismos, as causas e as origens dos defeitos das construções civis.

Tais manifestações patológicas podem ocorrer em todas as fases da edificação, de falhas executivas ao uso inadequado das instalações. Na figura 3, verifica-se as principais causas de danos estruturais correntes no Brasil:

Figura 3 - Principais causas de danos estruturais correntes no Brasil



Fonte: AECWEB.

Para avaliar as condições de uma estrutura de concreto armado, como é proposto nessa pesquisa, é imprescindível conhecer as diversas patologias que podem vir a comprometê-la. O estudo das patologias engloba a análise detalhada do problema, descrevendo as causas, formas de manifestação, os mecanismos de ocorrência, a profilaxia e a manutenção estrutural (EUQUERES, 2011).

Com o objetivo de auxiliar na etapa de identificação e classificação das manifestações patológicas, o Manual de Aplicação da Metodologia GDE/UnB (Anexo A), adaptação mais recente do documento original elaborado por Castro (1994), inclui a descrição e imagens ilustrativas dos danos de maior incidência em OAEs de concreto armado.

2.3. Vistorias em pontes de concreto

Esse tópico irá abranger os requisitos e especificações determinadas pela norma NBR 9452/2016, que trata de Inspeções de pontes, viadutos e passarelas de concreto – Procedimentos.

A atualização dessa norma utilizou como referência a atualização da NBR 6118, em 2014, que especifica os procedimentos para projetos de estruturas de concreto, e a NBR 16230 – Inspeção de estruturas de concreto –

Qualificação e certificação de pessoal – Requisitos, além da versão anterior da NBR 9452, de 2012.

A NBR 9452/2016 determina como inspeções os procedimentos de coleta de dados necessários para a formulação de um diagnóstico e prognóstico da estrutura. Ela também especifica como Obra de Arte Especial (OAE) as estruturas classificadas como pontes, viadutos e passarelas, distinguindo-as a partir do obstáculo a ser vencido e sua utilização.

Ainda de acordo com a norma, os elementos de uma estrutura podem ser classificados como:

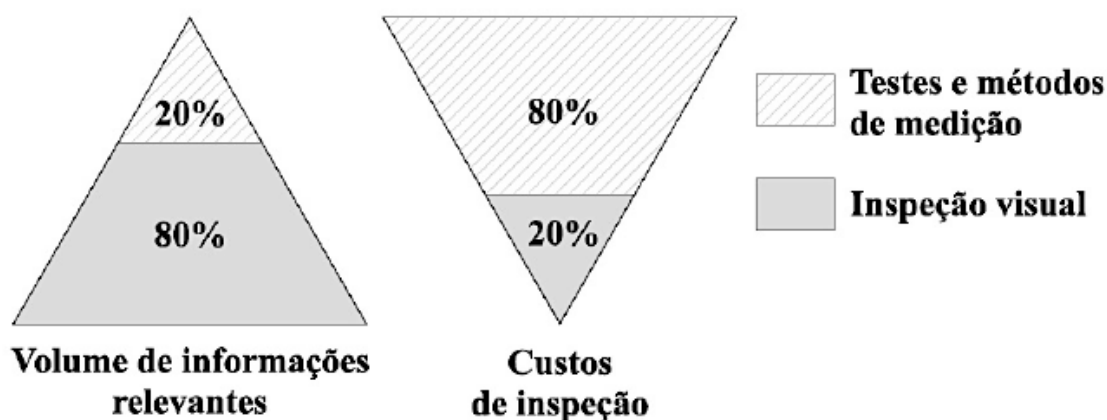
- Elemento principal: cujo dano pode resultar no colapso parcial ou total da obra;
- Elemento secundário: cujo dano pode causar ruptura localizada em apenas uma parte de um vão;
- Elemento complementar: cujo dano não ocasiona comprometimento estrutural, apenas funcional e de durabilidade.

A avaliação das obras de arte especiais pode ser feita para cada elemento, componente ou para a estrutura em geral, e sempre fundamentada a partir dos dados coletados em inspeções, assim como afirma Almeida (2013).

A inspeção visual é o método de melhor relação custo/informação (CEB – FIB, 2002). A partir dela, é possível obter uma perspectiva global das condições da estrutura, além da evolução de danos identificados em inspeções anteriores.

A Figura 4 apresenta a relação dos custos com os resultados obtidos a partir de inspeções visuais, segundo CEB-FIB (2002): 80% das informações relevantes são obtidas com somente 20% dos custos de inspeção. Assim, o restante dos recursos atribuídos às inspeções (80%) é destinado para outros métodos, testes ou ensaios de medição, caso seja necessário.

Figura 4 - Importância da inspeção visual a partir da relação entre as informações obtidas e os custos totais da inspeção



Fonte: CEB-FIP (2002), adaptação de Verly (2015).

Existe uma variável determinante nas inspeções visuais: o próprio inspetor. É possível que diferentes inspetores interpretem os dados obtidos em vistoria de diferentes formas.

Geralmente, inspeções visuais têm periodicidade de um ano ou 15 meses, o que propicia a sua realização em diferentes períodos do ano.

2.3.1. Tipos de inspeção

Quanto aos tipos de inspeção, a NBR 9452/2016 considera e especifica requisitos para inspeções: cadastral, rotineira, especial e extraordinária.

2.3.1.1. Inspeção cadastral

Essa é a primeira inspeção a ser realizada em uma obra, deve acontecer após a sua conclusão ou a partir do momento em que um sistema de monitoramento e acompanhamento passar a existir. Caso haja alteração nas configurações da obra, como alargamento, acréscimo de comprimento, reforço ou mudanças no sistema estrutural, após a implantação dessas modificações, também deve haver a inspeção cadastral.

2.3.1.2. Inspeção rotineira

É a inspeção de acompanhamento periódico da estrutura. Pode ser realizada visualmente, com ou sem auxílio de equipamentos ou recursos especiais pra análise ou acesso, e deve ocorrer em prazo não superior a um ano.

Nessa inspeção, deve-se verificar a evolução das manifestações patológicas já apresentadas em inspeções anteriores, assim como novas ocorrências, reparos e recuperações efetuadas no período.

Segundo a norma, a inspeção rotineira deve conter:

- a) Introdução contendo informações básicas;
- b) A classificação da Obra de Arte Especial, segundo os quadros do item 2.3.2 referentes aos critérios de classificação das OAEs;
- c) Apontamentos quanto a alterações no estado geral da OAE em relação à inspeção anterior, caso existam;
- d) Ficha de inspeção rotineira, como modelo ilustrado na Tabela 1;
- e) Registro fotográfico;
- f) Demais informações relevantes à inspeção.

Tabela 1 - Modelo de ficha de inspeção rotineira.

Inspeção rotineira (ano):		OAE Código:
Jurisdição (Órgão, concessão ou outros):		Data da inspeção:
PARTE I - Informações gerais		
A - Identificação e localização		
Via ou município:	Sentido:	
Obra:	Localização (km ou endereço):	
B - Histórico das inspeções		
Inicial:	Última rotineira:	
Especial:		
C - Descrição das intervenções executadas ou em andamento		
Reparos:		
Alargamentos:		
Reforços:		
PARTE II - Registro de manifestações patológicas		
A - Elementos estruturais:		

Superestrutura:	
Mesoestrutura:	
Infraestrutura:	
Aparelhos de apoio:	
Juntas de dilatação:	
Encontros:	
Outros elementos:	
B - Elemetos da pista ou funcionais	
Pavimento:	
Acostamento e refúgio:	
Drenagem:	
Guarda-corpo:	
Barreiras rígidas/ Defesas metálicas:	
C - Outros elementos	
Taludes:	
Iluminação:	
Sinalização:	
Gabaritos:	
Proteção de pilares:	
D - Informações complementares	
E - Recomendações de terapia	
PARTE III - Classificação da OAE	
Estrutural:	Funcional:
Durabilidade:	
Justificativas	

Fonte: (NBR 9452/2016).

2.3.1.3. Inspeção especial

A norma determina que a inspeção especial ocorra a cada cinco anos, podendo ser postergada para oito caso se enquadre nas seguintes situações:

- Obras com determinações, a partir de inspeções anteriores, de intervenções de longo prazo;
- Obras com total acesso a todos os seus elementos constituintes na inspeção rotineira.

Essa inspeção deve mapear e quantificar as anomalias de todos os elementos aparentes e/ou acessíveis da OAE, a fim de determinar o diagnóstico e prognóstico da estrutura. Pode ser necessária a utilização de equipamentos especiais para acesso a todos os componentes da estrutura (NBR 9452/2016).

A inspeção especial deverá ser antecipada nos seguintes casos:

- A inspeção anterior determinar intervenções em curto prazo para a estrutura;
- Previsão de alterações de grande porte, como alargamentos, prolongamentos, reforços, etc.

2.3.1.4. Inspeção extraordinária

Tal inspeção ocorre em situações não previstas ou programadas, como a necessidade de avaliar com mais atenção um elemento ou parte da OAE, a ocorrência de impacto de veículo ou de eventos da natureza, como inundações, sismos, etc.. Ela exige relatório específico e inclui a utilização de equipamentos especiais para o acesso ao elemento ou parte da estrutura.

2.3.2. Critérios de classificação das OAEs

A NBR 9452/2016 define que as OAEs sejam classificadas a partir da gravidade dos problemas detectados e segundo os parâmetros abaixo:

- Parâmetros estruturais: parâmetros relacionados à segurança estrutural da OAE, à sua estabilidade e capacidade portante, referente aos seus estados limites último e de utilização, conforme NBR 6118;
- Parâmetros funcionais: parâmetros referentes aos fins para a qual a OAE se destina, que devem atender aos requisitos geométricos adequados e proporcionar conforto e segurança aos usuários;
- Parâmetros de durabilidade: São as características das OAEs diretamente associadas à sua vida útil, referem-se a resistência

da estrutura contra ataques de agentes agressivos. A relevância apresentada pelos problemas de durabilidade deve ser avaliada em conjunto com a agressividade do meio em que a OAE se situa, definindo, assim, a velocidade de deterioração associada a eles.

A classificação da OAE consiste em atribuir uma avaliação, que varia de 1 (maior gravidade) a 5 (menor gravidade), das condições da estrutura. As tabelas 2 e 3 determinam a classificação das condições da OAE segundo os parâmetros descritos acima e o modelo de ficha de classificação recomendada pela norma. A nota final deve ser a menor nota atribuída ao parâmetro analisado (NBR 9452/2016).

Tabela 2- Classificação da condição da OAE segundo os parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade.

Nota de classificação	Condição	Caracterização estrutural	Caracterização funcional	Caracterização de durabilidade
5	Excelente	A estrutura apresenta-se em condições satisfatórias, apresentando defeitos irrelevantes e isolados.	A OAE apresenta segurança e conforto aos usuários.	A OAE apresenta-se em perfeitas condições, devendo ser prevista manutenção de rotina.
4	Boa	A estrutura apresenta danos pequenos e em áreas, sem comprometer a segurança estrutural.	A OAE apresenta pequenos danos que não chegam a causar desconforto ou insegurança ao usuário.	A OAE apresenta pequenas e poucas anomalias, que comprometem sua vida útil, em região de baixa agressividade ambiental.
3	Regular	Há danos que podem vir a gerar alguma deficiência	OAE apresenta desconforto ao usuário, com defeitos que	A OAE apresenta pequenas e poucas

		<p>estrutural, mas não há sinais de comprometimento da estabilidade da obra. Recomenda-se acompanhamento dos problemas. Intervenções podem ser necessárias a médio prazo.</p>	<p>requerem ações de médio prazo.</p>	<p>anomalias, que comprometem sua vida útil, em região de moderada a alta agressividade ambiental ou a OAE apresenta moderadas a muitas anomalias, que comprometem sua vida útil, em região de baixa agressividade ambiental.</p>
2	Ruim	<p>Há danos que comprometem a segurança estrutural da OAE, sem risco iminente. Sua evolução pode levar ao colapso estrutural. A OAE necessita de intervenções significativas a curto prazo.</p>	<p>OAE com funcionalidade visivelmente comprometida, com riscos de segurança ao usuário, requerendo intervenções de curto prazo.</p>	<p>A OAE apresenta anomalias moderadas a abundantes, que comprometam sua vida útil, em região de alta agressividade ambiental.</p>
1	Crítica	<p>Há danos que geram grave insuficiência estrutural na OAE. Há elementos estruturais em estado crítico, com risco tangível de colapso estrutural. A OAE necessita de intervenção imediata, podendo ser necessária, restrição de carga, interdição total ou parcial ao</p>	<p>A OAE não apresenta condições funcionais de utilização.</p>	<p>A OAE encontra-se em elevado estado grau de deterioração, apontando problema já de risco estrutural e/ou funcional.</p>

		tráfego, escoramento provisório e associada instrumentação, ou não.		
--	--	--	--	--

Fonte: (NBR 9452/2016).

Tabela 3 - Modelo de ficha de classificação da OAE.

Parâmetro	Elemento						
	Super estrutura	Meso estrutura	Infra estrutura	Elementos complementares		Pista	Nota final
				Estrutura	Encontro		
Estrutural							
Funcional		NA	NA				
Durabilidade							

Fonte: (NBR 9452/2016).

2.4. Metodologia GDE/UnB

A metodologia GDE/UnB surgiu a partir da dissertação de Castro (1994) e evoluiu através de Lopes (1998), Boldo (2002), Fonseca (2007), Euqeres (2011) e Verly (2015).

Foi idealizada a partir da metodologia de Klein et al. (1991), a qual foi elaborada para inspecionar onze OAEs localizadas em Porto Alegre – RS e tinha como objetivo apontar os problemas existentes em tais estruturas, sistematizar um processo de inspeção e classificá-las a partir da gravidade dos danos. Como se mostrou eficiente para a classificação das onze OAEs, em adição à facilidade com que os parâmetros adotados podem ser adotados e aplicados a diferentes tipos de estrutura, a metodologia serviu como base para diversos métodos de avaliação, tal como a metodologia desenvolvida por Castro (1994).

A metodologia GDE/UnB tem como objetivo quantificar o grau de deterioração de uma estrutura de concreto convencional.

Castro (1994) a aplicou em duas edificações de ocupações dessemelhantes. Mais tarde, ressaltou a necessidade de um número maior de

aplicações para o ajuste da formulação e dos parâmetros empregados. Em seguida, a metodologia foi sucessivamente adaptada e aplicada por Lopes (1998) em seis edificações comerciais do Banco do Brasil, por Boldo (2002) em quarenta edificações do Exército Brasileiro, também de diferentes ocupações, por Fonseca (2007) no Instituto Central de Ciências da UnB – ICC, por Euqueres (2011) em onze pontes no estado de Goiás e por Verly (2015) em vinte e duas OAEs situadas no Distrito Federal.

Para facilitar os trabalhos de inspeção, Castro (1994) elaborou um documento, denominado *Caderno de Inspeções*, que contém o conceito dos danos de maior incidência para cada família de elementos e recomendações para a determinação dos valores dos Fatores de intensidade do dano (F_i). Esse caderno foi utilizado por Lopes (1998) e atualizado por Boldo (2002), alterando sua denominação para *Inspeção para Estruturas de Concreto*.

Fonseca (2007) apresentou uma adaptação do documento sugerindo alterações nas fórmulas de cálculo do Grau de deterioração da família (G_{df}) e do Grau do Dano (D), além de uma alteração nos tipos mais frequentes de dano.

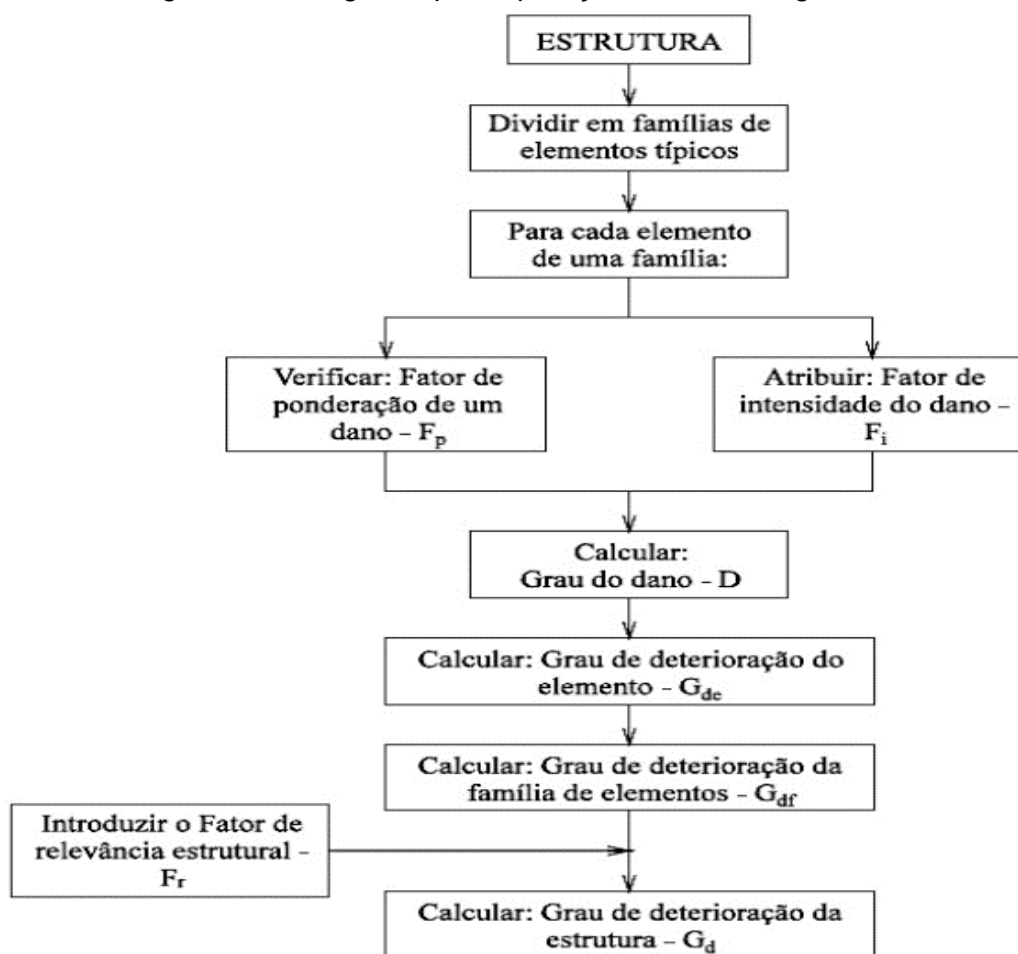
Semelhantemente aos demais, Euqueres (2011) adaptou o documento de referência para as inspeções com base no utilizado por Fonseca (2007), porém, com as devidas adequações devido às particularidades das estruturas de pontes em relação às estruturas de edificações. O novo roteiro recebeu a denominação *Roteiro de Inspeções para Estruturas e Pontes de Concreto Armado* e também foi utilizada por Verly (2015), com as devidas alterações para as singularidades das estruturas de viadutos.

Após a aplicação da metodologia, Verly (2015) propôs algumas modificações. Em específico, apresentou adaptações à formulação do grau de deterioração da estrutura (G_d) e criou o que denominou *Manual de Aplicação da Metodologia GDE/UnB a Obras de Arte Especiais*.

O presente trabalho se baseou, principalmente, nas atualizações propostas por Euqueres (2011) e Verly (2015), que avaliaram pontes e viadutos em suas dissertações, respectivamente, estruturas similares a que será aqui avaliada, além de serem as adaptações mais recentes da metodologia.

A metodologia GDE/UnB segue as etapas descritas pelo fluxograma da Figura 5, criado por Castro (1994) e adaptado ao longo da evolução do método.

Figura 5 - Fluxograma para aplicação da metodologia GDE/UnB



Fonte: Adaptada de Castro (1994)

a) Divisão em famílias de elementos típicos:

Os elementos são agrupados em famílias conforme suas características estruturais particulares e sua função estrutural no conjunto, ou seja, com base na sua importância no comportamento e no desempenho da estrutura. Em uma família, todos os elementos são tratados de maneira igualitária.

Essa divisão não é fixa e deve ser avaliada sempre que a metodologia for aplicada, podendo ser alterada e adaptada quando for necessário, já que, em sistemas estruturais distintos, elementos estruturais de mesma denominação podem ter relevâncias diferentes (VERLY, 2015).

b) Fator de ponderação do dano (Fp):

O Fator de ponderação quantifica a importância relativa do dano em relação às condições de segurança, funcionalidade e estética dos elementos de uma família. Isso significa que uma mesma manifestação patológica pode apresentar fatores de ponderações diferentes em famílias de elementos distintas.

A metodologia determina que os valores de Fp variem de 1 a 5.

Desde a primeira versão da metodologia GDE, utiliza-se formulários que devem ser preenchidos durante a inspeção. A Figura 6 é referente ao modelo de ficha de inspeções adotada por Euqueres (2011) e Verly (2015) para pilares. O presente trabalho também se baseará nesse formulário na etapa das inspeções.

Figura 6 - Modelo de ficha de inspeção para pilares

Nome do Elemento →				
Local →				
Danos	F_p	F_i	D	Croquis/Observações
Carbonatação do concreto	3			
Cobrimento deficiente	3			
Contaminação por cloretos	4			
Corrosão de armaduras	5			
Desagregação	3			
Desplacamento	3			
Desvio de geometria	4			
Eflorescência	2			
Falha de concretagem	3			
Fissuras	2 a 5*			
Manchas	3			
Recalque	5			
Sinais de esmagamento	5			
Umidade excessiva na infraestrutura	4			

Fonte: Verly (2015).

Os valores de F_p são preenchidos previamente à inspeção da estrutura, salvo o item de fissuras, que são definidos no momento da vistoria a partir das suas particularidades presentes e de acordo com as tabelas C.1 e C.2 do Manual de aplicação da Metodologia GDE/UnB a Obras de Arte Especiais, que está no Anexo A desse trabalho.

c) Fator de intensidade do dano (F_i):

De modo oposto ao F_p , o Fator de intensidade (F_i) não considera o elemento estrutural, e sim o dano existente, classificando-o quanto a sua gravidade e evolução isolada em um determinado elemento.

Esse fator varia de 0 a 4, progredindo de acordo com a gravidade do dano, e, por se tratar de uma avaliação subjetiva, como Castro (1994) apontou, deverá ser acompanhada de fotos e croquis (desenhos) que tornem a atribuição dos valores de F_i mais confiáveis e adequados.

Para a determinação de F_i , são considerados os apontamentos feitos por observação visual, que abrange de testes simples a análises do ambiente onde o dano se encontra, além de comparações entre as deformações medidas e os limites recomendados por norma (VERLY, 2015).

As recomendações para a definição dos valores de F_i estão no Manual de aplicação da Metodologia GDE/UnB a Obras de Arte Especiais (ANEXO A).

d) Grau do dano (D):

Castro (1994) definiu a formulação do cálculo do Grau do Dano (D) a partir de uma analogia ao modelo proposto por Tuutti (1982). Tal modelo foi desenvolvido para retratar a evolução da deterioração do concreto ao longo do tempo, originalmente baseado no processo de corrosão de estruturas (CASTRO, 1994). No entanto, esse método pode representar a deterioração em geral, pois descreve como o processo de deterioração pode progredir no interior de uma estrutura de concreto.

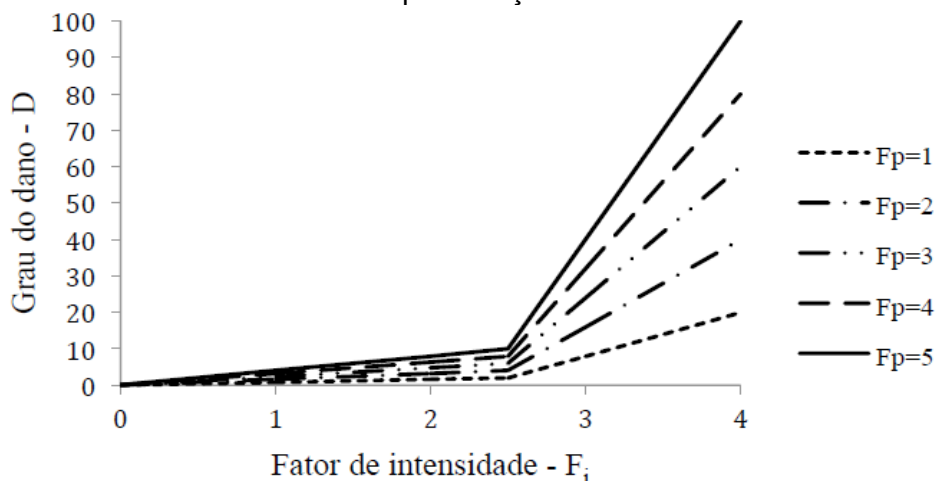
O modelo define em duas etapas o processo de deterioração:

- Período de iniciação: período em que pouco ou nenhum dano se apresenta, porém, o processo de deterioração, apesar de lento, já está ativo a partir do início da ação dos agentes agressivos na estrutura. Não representa comprometimento para a vida útil da estrutura (CASTRO, 1994; VERLY, 2015);
- Período de propagação: intervalo em que os danos estão se desenvolvendo e propagando para o interior da estrutura. A velocidade de degradação aumenta e passa a ser um fator decisivo na vida residual da estrutura (CASTRO, 1994).

Assim como Tuutti (1982), Castro (1994) considerou que a deterioração ocorre em duas etapas: iniciação e propagação. Contudo, atribuiu o fator de intensidade (F_i) como variável para o cálculo do grau do dano (D), contrariamente a Tuutti (1982) que utilizou o tempo.

O gráfico da Figura 7 apresenta o momento, no ponto de inflexão, em que ocorre a divisão entre os períodos de iniciação e propagação da deterioração. Nele, D é uma função de F_p , que varia de 1 a 5, é inerente a cada dano e pré-estabelecido para cada família, e de F_i , que varia de 0 a 4 e é atribuído pelo profissional a partir da inspeção (VERLY, 2015).

Figura 7 - Grau do Dano (D) em função dos fatores de intensidade de ponderação



Fonte: (Verly, 2015).

O valor de D é determinado a partir das equações e especificações a seguir:

- Para $Fi \leq 2,0$:

$$D = 0,8.Fi.Fp$$

- Para $Fi \geq 3,0$:

$$D = (12.Fi - 28)Fp$$

e) Grau de deterioração do elemento (G_{de}):

A partir dos graus isolados de cada dano obtidos, dá-se início à análise de todos os danos existentes no elemento. Tal análise é feita pelo cálculo do Grau de Deterioração do elemento (G_{de}), no qual a equação, proposta por Lopes (1998), determina que o efeito do maior dano encontrado seja somado aos efeitos dos demais.

$$G_{de} = D_{máx} \left[1 + \frac{(\sum_{i=1}^n D_i) - D_{máx}}{(\sum_{i=1}^n D_i)} \right]$$

Onde:

G_{de}	Grau de deterioração do elemento;
D_i	Grau de dano de índice "i";
$D_{máx}$	Maior grau do dano encontrado no elemento;
n	Número de dados encontrados no elemento.

Para cada valor de G_{de} , são apresentados, no Manual de aplicação da Metodologia GDE/UnB a Obras de Arte Especiais, cinco níveis de deterioração do elemento e suas respectivas ações recomendadas (VERLY, 2015).

Figura 8 - Classificação dos níveis de deterioração do elemento e recomendações em função do valor de G_{de}

Nível de deterioração	G_{de}	Ações recomendadas
Baixo	0 - 15	Estado aceitável. Manutenção preventiva.
Médio	15 - 50	Definir prazo e natureza de nova inspeção. Planejar intervenção em longo prazo (máximo 2 anos).
Alto	50 - 80	Definir prazo para inspeção especializada. Planejar intervenção em médio prazo (máximo 1 ano).
Sofrível	80 - 100	Definir prazo para inspeção especializada rigorosa. Planejar intervenção em curto prazo (máximo 6 meses).
Crítico	> 100	Inspeção especializada imediata e medidas emergenciais (alívio de cargas, escoramento, etc.). Planejar intervenção imediata.

Fonte: Manual de aplicação da Metodologia GDE/UnB a Obras de Arte Especiais, 2015.

f) Grau de deterioração da família de elementos (G_{df}):

Nessa etapa, avalia-se o conjunto de elementos de uma família, utilizando, para isso, os valores de G_{de} obtidos para cada elemento anteriormente.

$$G_{df} = G_{de,máx} \sqrt{1 + \frac{(\sum_{i=1}^m G_{de,i}) - G_{de,máx}}{(\sum_{i=1}^m G_{de,i})}}$$

Onde:

$G_{de,máx}$ Maior grau de deterioração encontrado em uma família de elementos;
 $G_{de,i}$ Graus de deterioração dos elementos da família;
 m Número de dados encontrados na família.

É importante ressaltar que, na formulação proposta por Castro (1994), são considerados no cálculo de G_{df} apenas os valores de G_{de} iguais ou superiores a 15, a fim de indicar o que denominou de danos expressivos.

Entretanto, a adaptação da metodologia por Euqueres (2011) em obras de artes especiais considera que todos os valores de G_{de} maiores que zero devem ser analisados e incluídos no cálculo de G_{df} . Seu intuito é fazer com que todos os elementos da estrutura influenciem na avaliação global da OAE.

Segue, abaixo, a formulação de G_{df} segundo Fonseca (2007), adaptado de Castro (1994):

$$G_{df_2} = G_{de,máx} \sqrt{1 + \frac{(\sum_{i=1}^n G_{de,i}) - G_{de,máx}}{(\sum_{i=1}^n G_{de,i})}}$$

Onde:

G_{df_2} Grau de deterioração de uma família de elementos segundo Fonseca (2007), adaptado de Castro (1994);

n Número de elementos componentes da família com $G_{de} \geq 15$.

g) Fator de relevância estrutural (F_r):

Este fator tem o propósito de determinar e salientar a importância relativa de uma família de elementos no comportamento e desempenho da estrutura como um todo. Depende, então, do sistema estrutural em análise, assim como a divisão dos elementos da estrutura na primeira etapa da metodologia.

Os valores atribuídos a cada família de elementos nesse trabalho serão baseados nas duas últimas adaptações da metodologia GDE/UnB, propostas por Euqeres (2011) e Verly (2015). A tabela 4 descreve a divisão dos elementos e seus respectivos fatores de relevância a serem conferidos.

Tabela 4 - Fatores de Relevância Estrutural para OAEs

Família	F_r
Barreiras, guarda-corpo, guarda rodas, pista de rolamento	1
Juntas de dilatação	2
Transversinas, cortinas, alas	3
Lajes, fundações, vigas secundárias, aparelhos de apoio	4
Vigas e pilares principais	5

Fonte: Verly (2015).

h) Grau de deterioração da estrutura (G_d):

A última etapa da aplicação da metodologia GDE/UnB consiste no cálculo de G_d , grau de deterioração da estrutura como um todo.

$$G_d = \frac{K_{máx}}{7,07} \sqrt{1 + \frac{(\sum_{i=1}^k K_i) - K_{máx}}{\sum_{i=1}^k K_i}}$$

Onde:

k Número de famílias da estrutura;
 K Produto do Gdf pelo respectivo Fr;
 $K_{máx}$ Maior valor do produto do Gdf pelo respectivo Fr.

Do mesmo modo realizado na definição dos graus de deterioração de cada elemento, após a obtenção dos valores de G_d , a estrutura pode ser classificada a partir do seu nível de deterioração e suas respectivas recomendações, como ilustra a tabela 5. A abaixo também se encontra no Manual de aplicação da Metodologia GDE/UnB a OAEs (Anexo A).

Tabela 5 - Classificação dos níveis de deterioração da estrutura e recomendações em função do valor de G_d .

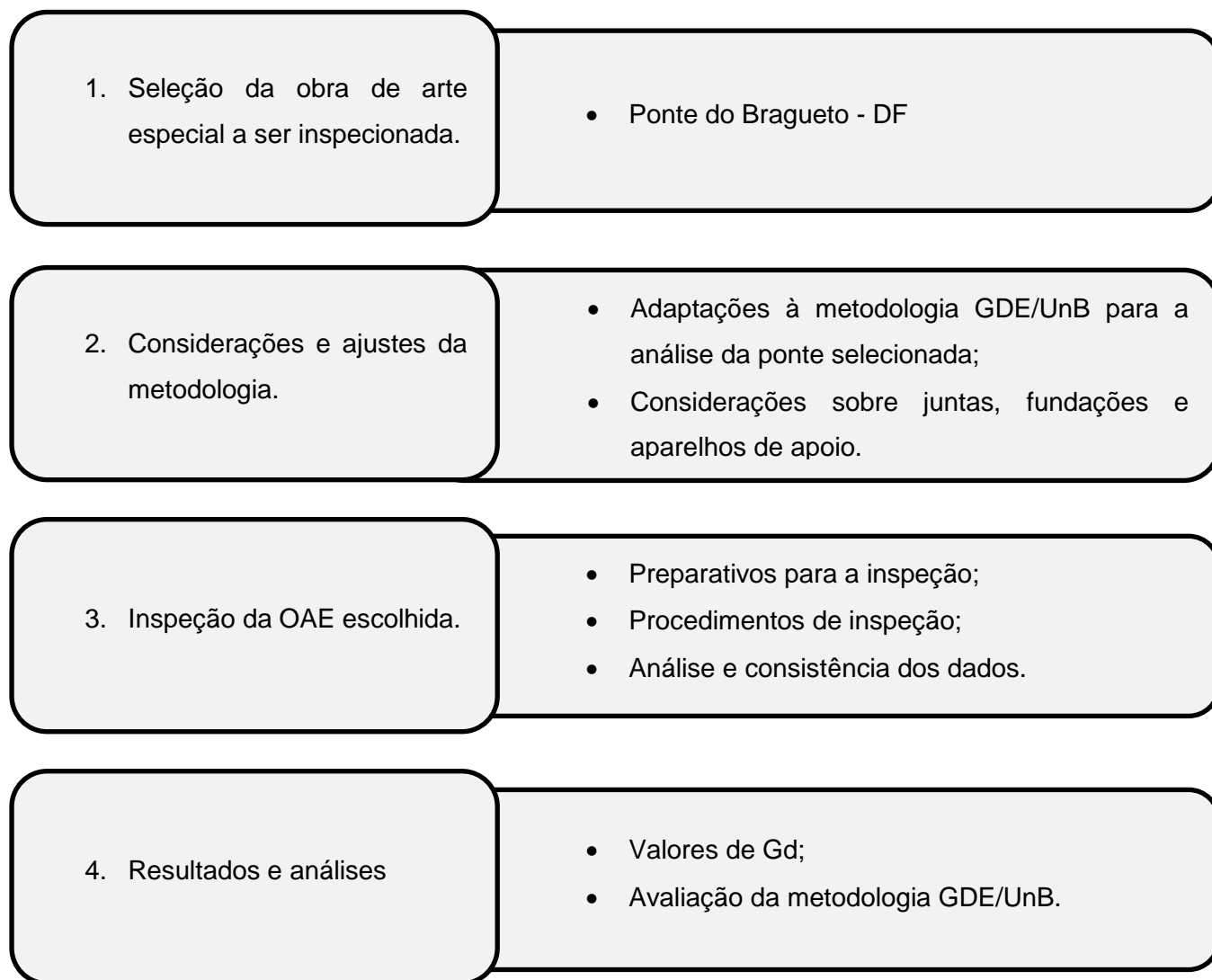
Nível de deterioração	G_d	Ações recomendadas
Baixo	$0 > 15$	Estado aceitável. Manutenção preventiva.
Médio	$15 - 50$	Definir prazo e natureza de nova inspeção. Planejar intervenção em longo prazo (máximo 2 anos).
Alto	$50 - 80$	Definir prazo para inspeção especializada. Planejar intervenção em médio prazo (máximo 1 ano).
Sofrível	$80 > 100$	Definir prazo para inspeção especializada rigorosa. Planejar intervenção em curto prazo (máximo 6 meses).
Crítico	> 100	Inspeção especializada imediata e medidas emergenciais (alívio de cargas, escoramento, etc.). Planejar intervenção imediata.

Fonte: Manual de aplicação da Metodologia GDE/UnB a Obras de Arte Especiais (2015).

3. Metodologia

Para o cumprimento dos objetivos desse trabalho, elaborou-se uma metodologia a ser seguida, ilustrada pelo fluxograma abaixo, com base no modelo de metodologia de Verly (2015).

Figura 9 - Fluxograma da metodologia aplicada para a análise.



3.1. Seleção da obra de arte a ser inspecionada

A Ponte do Bragueto interliga a DF-002 (Eixo Rodoviário Norte/Sul) à DF-007 (Estrada Parque Torto), em Brasília – DF, e é a única ponte sobre o lado norte do lago Paranoá, ligando a Asa Norte ao Lago Norte, Granja do Torto e toda região norte do Distrito Federal. Possui 180 metros de extensão,

29 metros de largura e quatro metros de altura. Foi inaugurada em junho de 1961 e recebe cerca de 80 mil veículos diariamente. A ponte é do tipo caixão perdido, ou seja, duas lajes e vigas entre elas, e toda em concreto armado.

As Figuras 10 e 11 apresentam, respectivamente, a localização e uma imagem parcial da ponte.

Figura 10 - Vista panorâmica da Ponte do Bragueto.



Fonte: Google Earth.

Figura 11 - Vista parcial - Ponte do Bragueto - DF.



Fonte: GSP Brasília

Construída há 55 anos, a Ponte do Bragueto é conhecida pelas condições críticas que se encontra. Além das manifestações patológicas que a estrutura apresenta e da explícita falta de manutenções preventivas e

corretivas, ainda existem diversas evidências de danos por impacto que não foram corrigidos e transmitem insegurança aos milhares de usuários diários.

Figura 12 - Imagem registrada em campo dos danos causados por impacto.



A Figura 12 ilustra o resultado do impacto de um caminhão, ocorrido em abril de 2016. O caminhão, que possuía quatro metros de altura, assim como o permitido e sinalizado, ficou preso embaixo da ponte, causando danos à laje inferior (Figura 13).

Figura 13 - Caminhão preso embaixo da ponte do Bragueto



Fonte: CREA - DF

Não foi a primeira vez que um impacto causado por veículo alto danifica a estrutura da ponte. Em 2014, partes da laje de concreto desabaram na pista. Na época, houve suspeita de que um caminhão ou veículo alto atingiu a laje, arrebatando-a. Agentes da Defesa civil afirmaram que apenas a laje inferior foi lesada, não resultando em danos à estrutura.

Deve-se ressaltar, também, o uso incorreto dos elementos da ponte, como mostra a Figura 14. Além da exposição da armadura em vários pontos da laje, o que já caracteriza situação preocupante, alguns transeuntes ataram cordas no aço exposto para uso não conhecido.

Figura 14 - Cordas amarradas em diversos pontos com armadura exposta.



Em resumo, a degradação contínua da ponte é influenciada e agravada por diversos fatores, desde uso indevido a falta de manutenções preventivas e corretivas.

Pela sua condição, a ponte do Bragueto é, entre as outras pontes sobre o lago Paranoá, a mais interessante para os fins deste trabalho, contendo diversas manifestações patológicas que podem ser quantificadas através da metodologia GDE/UnB. A partir da análise dessa estrutura, será possível demonstrar a eficiência da metodologia na avaliação de OAEs e estruturas de concreto armado em geral, podendo ser utilizada como parâmetro de avaliação e definição de intervenções necessárias.

3.2. Considerações e ajustes da metodologia

3.2.1. Adaptações à metodologia GDE/UnB para a análise da ponte selecionada

Assim como afirma Euqueres (2011) e Verly (2015), a metodologia GDE/UnB se baseia em avaliações simplesmente visuais para identificação de

manifestações patológicas recentes e do progresso das que já foram previamente identificadas.

As fichas de inspeção utilizadas para a aplicação da metodologia diferem de um sistema estrutural para outro. Neste trabalho, as fichas foram retiradas do Manual de Aplicação da Metodologia GDE/UnB a Obras de Arte Especiais (VERLY, 2015) e usadas sem alteração nos danos avaliados e nos valores de F_p atribuídos pelo autor.

Entretanto, com o intuito de aperfeiçoar o processo de inspeção e cálculos da metodologia, utilizou-se o programa Microsoft Excel para elaboração de uma planilha sistematizada, baseada nas fichas de inspeção do Manual, que calcula os valores de D , G_{de} , G_{df} e G_d assim que são atribuídos os fatores de intensidade para cada elemento. Dessa forma, os resultados são gerados de maneira rápida e eficaz e a sua apresentação ao fim da análise é mais clara e específica.

A planilha foi preenchida a partir das recomendações do Manual de Aplicação da Metodologia GDE/UnB a Obras de Arte Especiais (VERLY, 2015), que orienta a atribuição dos fatores de ponderação e intensidade. Contudo, existem danos citados nas fichas e na planilha, como carbonatação e contaminação por cloreto, que não foram avaliados neste trabalho por necessitarem de ensaios, amostras ou remoção de parte do concreto para serem constatados. Como consequência, serão analisados apenas os danos que podem ser identificados visualmente.

Apesar de a metodologia possibilitar a adição de novas famílias de elementos, neste trabalho, não houve tal necessidade.

Como já foi dito no item 2.4., Castro (1994) determinou que, no cálculo do grau de deterioração de uma família de elementos (G_{df}), fossem considerados apenas os valores de G_{de} (grau de deterioração do elemento) maiores que 15, considerando apenas o que nomeou de danos expressivos.

Em contrapartida, Euqueres (2011), em sua dissertação, além de propor uma nova divisão dos elementos estruturais em famílias mais adequada à aplicação em OAEs, aplicou a metodologia considerando todos os valores de G_{de} maiores que zero no cálculo do grau de deterioração de cada família.

A partir das duas concepções diferentes, ambas com justificativas plausíveis para suas considerações, o cálculo de G_{df} neste trabalho foi feito das duas formas.

3.2.2. Considerações sobre os elementos estruturais da ponte

No presente trabalho, não foi possível inspecionar todos os elementos estruturais citados na divisão das famílias devido à dificuldade de acesso e à inexistência de tais elementos na estrutura avaliada.

Sendo a Ponte do Bragueto do tipo caixão perdido e não havendo a possibilidade de acesso a essa área, não foi possível vistoriar a parte da estrutura existente no seu interior. As cortinas não são visíveis por estarem cobertas por taludes e não houve acesso às fundações da ponte. As juntas de dilatação não foram inspecionadas pois não existem na estrutura.

A tabela 6 apresenta o elemento estrutural que não pôde ser analisado e a respectiva justificativa.

Tabela 6 - Situação dos elementos estruturais não inspecionados

Elemento estrutural	Situação
Juntas de dilatação	Inexistente
Cortinas	Não houve acesso
Lajes superiores (interior do caixão)	Não houve acesso
Lajes inferiores (interior do caixão)	Não houve acesso
Fundações	Não houve acesso
Aparelhos de apoio	Inexistente
Vigas (interior do caixão)	Não houve acesso

3.3. Inspeção da OAE escolhida

3.3.1. Preparativos para a inspeção

Os preparativos para a inspeção, se tratando de uma inspeção rotineira (item 2.3), consistem em coletar os dados já existentes sobre a ponte a ser avaliada, identificar seus elementos e dividi-los em famílias. As informações gerais sobre a Ponte do Bragueto (projeto, dimensões, localização, etc.) foram obtidas no site do DER/DF através da proposta de alargamento da ponte feita em 2013. Os dados históricos sobre a ponte são limitados ao domínio público, logo, os que estão descritos neste trabalho foram retirados de sites e reportagens.

Os elementos da ponte foram identificados e numerados para facilitar a aplicação da metodologia. O programa AutoCad 2D foi utilizado para elaboração de plantas e vistas da ponte com suas dimensões atuais. O intuito foi facilitar o reconhecimento de cada elemento e o mapeamento das manifestações patológicas existentes. As Figuras 15 e 16 apresentam os elementos devidamente identificados.

Figura 15 - Vista geral da divisão e localização dos elementos da ponte.

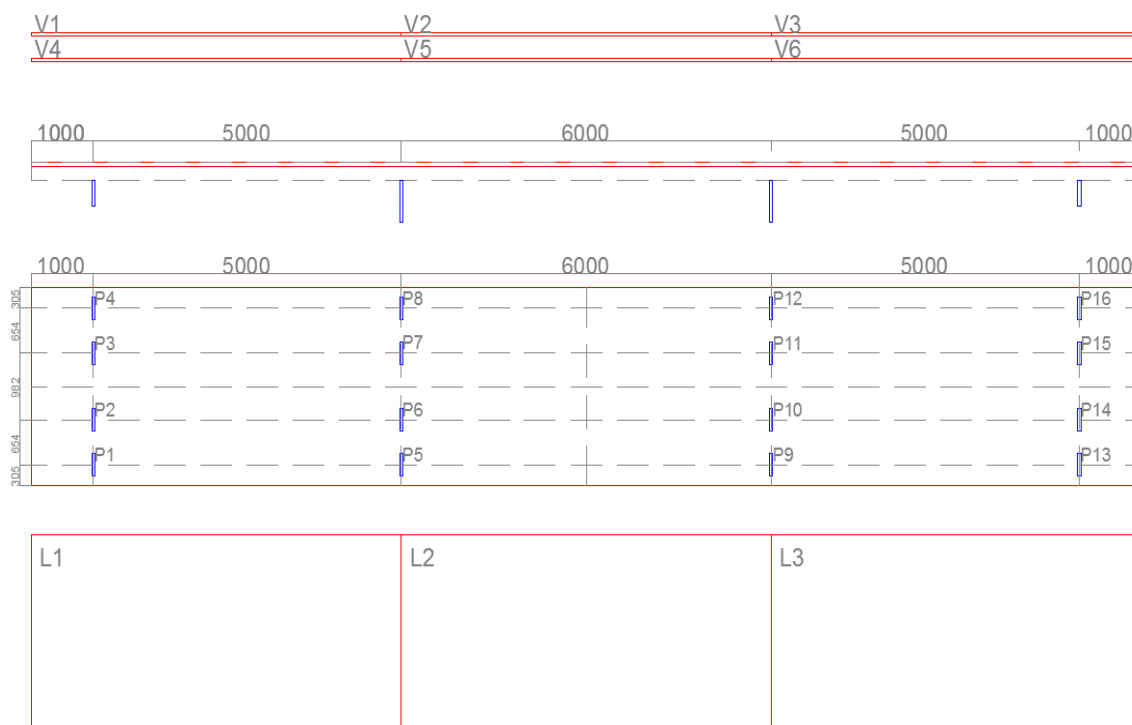
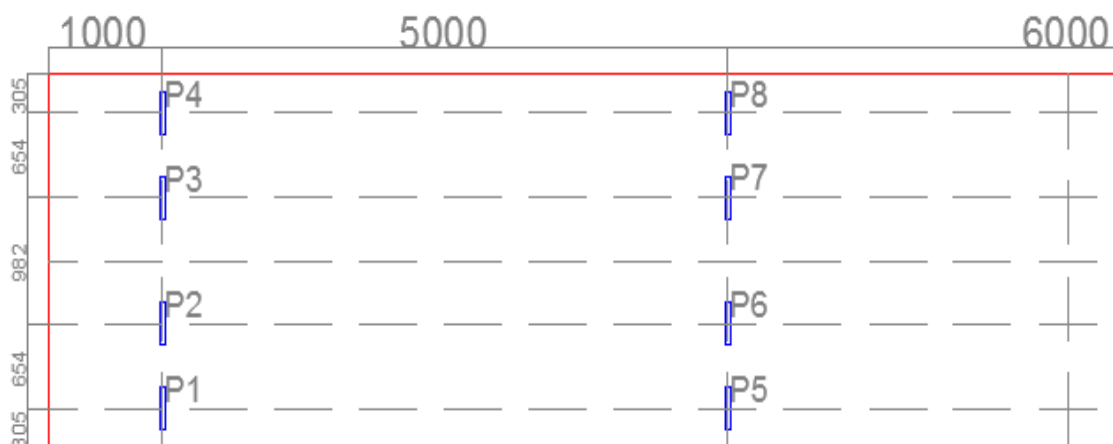


Figura 16 - Localização dos pilares P1 a P8.



Previamente às inspeções, os valores dos fatores de ponderação foram atribuídos para todos os elementos da estrutura a partir dos danos que serão analisados, com exceção ao caso de fissuras, que, como já foi especificado no item 2.4, devem ser avaliadas em campo para a atribuição adequada de F_p .

3.3.2. Procedimentos de inspeção

As inspeções à Ponte do Bragueto foram realizadas com base no Manual de aplicação da Metodologia GDE/UnB em OAEs, que está em anexo.

As inspeções foram realizadas em duas etapas devido às condições de acesso. A primeira etapa consistiu na avaliação do guarda corpo, pista de rolamento e das lajes, vigas-parede e pilares sobre as vias da Estrada Parque Das Nações – Via L4, e foi realizada em um domingo, entre 10h e 12h, para que não houvesse grande fluxo de veículos no momento da vistoria. A segunda etapa compreendeu a inspeção do restante da ponte, que está sobre o Lago Paranoá, em uma quinta-feira pela manhã, também entre 10h e 12h.

A equipe que realizou as inspeções foi composta por três estudantes de Engenharia Civil. Os materiais, equipamentos e meios de transporte utilizados em campo foram:

- Planilha para preenchimentos dos valores de F_p e F_i ;

- Manual de aplicação da metodologia GDE/UnB a OAEs (Anexo A);
- Câmera fotográfica para registrar os danos à estrutura;
- Prancheta para auxiliar o preenchimento das planilhas e o registro de anotações;
- Lancha para tráfego sobre o lago.

3.3.3. Análise e consistência dos dados

Os dados obtidos nas inspeções foram revisados para comprovar a sua consistência antes da realização dos cálculos da metodologia. Essa etapa existe para verificar incoerências que passaram despercebidas pelo avaliador em campo. Para isso, utilizou-se o registro fotográfico feito durante a vistoria, o qual se mostrou bastante importante e eficiente para este propósito.

Além disso, a partir do início dos cálculos da metodologia, foi necessária uma terceira visita à ponte para confirmação de alguns valores de F_i atribuídos. A inspeção foi realizada pela manhã e os equipamentos utilizados foram os mesmos das inspeções anteriores, exceto pelo transporte, um barco a motor de pequeno porte.

3.4. Resultados e análises

A próxima etapa realizada para avaliação da Ponte do Bragueto pela metodologia GDE/UnB consistiu na aplicação dos dados encontrados em campo nas equações do método e a realização dos cálculos. Os resultados e conclusões serão apresentados no capítulo 4 e 5, respectivamente, deste trabalho.

3.4.1. Valores de G_d

O presente trabalho apresentará dois valores de G_d (grau de deterioração da estrutura) da Ponte do Bragueto, pois esta será analisada a partir de duas formulações da metodologia GDE/UnB: a proposta original de

Castro (1994), e a adaptação de Euqueres (2011). A divergência entre as duas aplicações foram apresentadas nos itens 2.4 e 3.2.1.

3.4.2. Avaliação da metodologia GDE

Ao fim desta análise, os resultados finais obtidos foram utilizados para qualificar a eficiência da metodologia GDE/UnB como método de avaliação de estruturas de concreto armado e como base para determinação das intervenções necessárias a elas.

4. Apresentação e análise dos resultados

Neste capítulo, serão apresentados os resultados da avaliação da ponte do Bragueto obtidos a partir da formulação original da metodologia GDE/UnB (Castro, 1994) e da adaptação de Euqueres (2011). Além disso, foi possível determinar os elementos que causaram maior impacto no grau de deterioração geral da estrutura e as manifestações patológicas mais recorrentes na ponte.

Os valores de F_p (fator de ponderação) e F_i (fator de intensidade) atribuídos a cada elemento, assim como os valores de D (Grau do Dano) respectivamente calculados e as imagens registradas em campo se encontram no Apêndice A.

4.1. Situação da OAE

As imagens abaixo ilustram as condições da Ponte do Bragueto, registradas nas três inspeções realizadas.

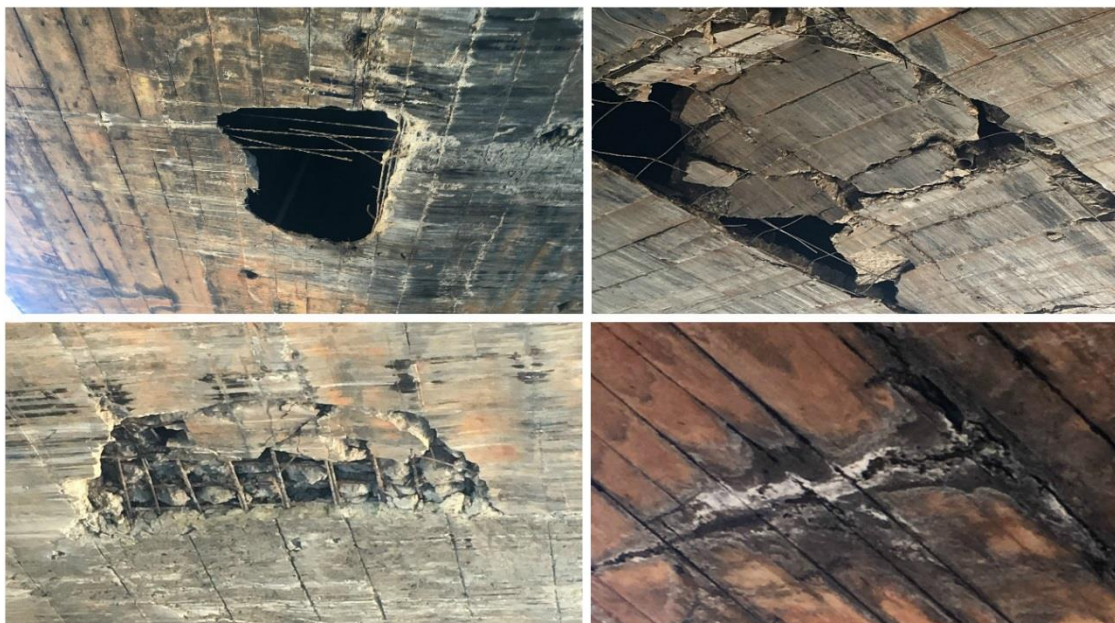
As Figuras 17 e 18 apresentam alguns dos danos encontrados nos pilares e na laje sobre o solo, assim como o desgaste superficial da pista de rolamento. Além das manchas e indícios de umidade, é bastante evidente a quantidade de armações expostas na laje e, até mesmo, nos pilares.

Figura 17 - Condições da ponte registradas durante inspeções.



Apesar de não serem considerados no cálculo da metodologia GDE, é importante salientar a quantidade de danos por impacto existentes na ponte do Bragueto, que causam extremo desconforto aos usuários.

Figura 18 - Condições da ponte registradas durante inspeção.



Foram verificadas, além das manchas escuras predominantes em toda a ponte, diversas manifestações de eflorescência, principalmente na parte da laje sob o Lago Paranoá. Nesta mesma área, é possível observar a desagregação do concreto em alguns pontos, por vezes com exposição da armadura.

Figura 19 - Condições da ponte registradas durante inspeção.



Já nas vigas laterais, predominam as fissuras existentes, como ilustra a Figura 20. Porém, estas não possuem abertura maior do que é previsto em norma. As extremidades da laje da ponte apresentam cobrimento deficiente, com exposição da armadura e manchas escuras.

Figura 20 - Condições da ponte registradas durante inspeção.



4.2. Análise dos graus de deterioração dos elementos

Conforme dito no item 2.4, a partir do grau de deterioração de cada elemento calculado, a metodologia GDE/UnB classifica os elementos determinando seu nível de deterioração e a respectiva intervenção recomendada (tabela 4).

A seguir, a tabela 7 especifica o nível de deterioração dos elementos na Ponte do Brageto, divididos em suas determinadas famílias. É possível discernir, com base nas tabelas abaixo, os elementos que tiveram maior influência no resultado final da metodologia.

Tabela 7 - Graus de deterioração de cada elemento e seus respectivos níveis de deterioração.

PILARES		
Elemento	Gde	Nível de deterioração
P1	65,3	Alto
P2	32,3	Médio
P3	7,8	Baixo
P4	33,3	Médio
P5	34,2	Médio
P6	34,2	Médio
P7	8,6	Baixo
P8	34,2	Médio
P9	40,4	Médio
P10	38,5	Médio
P11	40,4	Médio
P12	38,5	Médio
P13	33,3	Médio
P14	39,9	Médio
P15	39,9	Médio
P16	33,3	Médio

LAJES		
Elemento	Gde	Nível de deterioração
L1	41,0	Médio
L2	97,5	Sofrível
L3	97,0	Sofrível

VIGAS		
Elemento	Gde	Nível de deterioração
V1	33,6	Médio
V2	31,6	Médio
V3	31,6	Médio
V4	31,6	Médio
V5	33,6	Médio
V6	31,6	Médio

GUARDA-CORPOS		
Elemento	Gde	Nível de deterioração
I	30	Médio
II	29,1	Médio

PISTAS DE ROLAMENTO		
Elemento	Gde	Nível de deterioração
Sentido Lago Norte	12,80	Baixo
Sentido Asa Norte	12,80	Baixo

As vigas, guarda-corpos, bem como a maioria dos pilares, apresentaram nível de deterioração médio, ou seja, entre 15 e 50. Nestes casos, a metodologia utilizada recomenda uma intervenção de longo prazo de no máximo 2 anos. Apenas um pilar, P1, apresentou alto grau devido à corrosão e exposição da ferragem.

Os únicos elementos classificados como críticos em toda a estrutura foram as lajes L2 e L3. Logo, estes impactam de forma mais significativa o resultado final da deterioração da ponte. As lajes possuem diferentes fatores que interferem na sua classificação. A laje L1, por exemplo, está sobre o solo e seus danos, em sua maioria, são advindos de impactos, como visto no item 3.1

deste trabalho. Já as lajes L2 e L3 estão sobre o Lago Paranoá, sofrendo, assim, atuação de agentes agressivos distintos. A figura 21 ilustra, como exemplo, a desigualdade dos danos que comprometem as lajes L1 e L2.

Figura 21 - Lajes L2 e L1, respectivamente.



Com base nos valores de G_{de} , foi possível calcular o grau de deterioração de cada família (G_{df}) a partir das formulações de Castro (1994, adaptação de Fonseca, 2007) e de Euqeres (2011). No item a seguir, os resultados dos dois métodos serão analisados.

4.3. Metodologia de Castro (1994) e adaptação de Fonseca (2007)

A formulação original da metodologia GDE buscou determinar um valor limite do grau de deterioração do elemento (G_{de}) para caracterizar o que Castro (1994) denominou “danos expressivos”. Assumiu-se que o valor de fator de intensidade $F_i=2,5$ correspondesse ao momento exato de transição entre a fase de iniciação e de propagação do dano. A partir dele, considerando a hipótese de que todos os danos ocorressem de forma simultânea, os cálculos de G_{de} resultaram em valores pouco maiores que 15, tornando-o o valor limite para o cálculo do grau de deterioração de uma família de elementos (G_{df}).

Assim como a metodologia em geral, as equações que define os valores dos graus de deterioração também foram adaptadas e alteradas ao longo do tempo. Lopes (1998), assim como Boldo (2002) e Fonseca (2007), propuseram

adaptações às fórmulas iniciais utilizadas, pois estas, muitas vezes, resultavam em valores incoerentes. Contudo, enquanto Lopes (1998) gerou uma nova equação para o cálculo de G_{de} , Boldo (2002) e Fonseca (2007), dentre as várias modificações apresentadas, elaboraram uma nova adaptação para a equação de G_{df} .

Neste trabalho, como nas últimas aplicações da metodologia, a equação utilizada para calcular G_{df} a partir do conceito de Castro (1994) será a adaptada por Fonseca (2007), visto que esta gera resultados que podem ser classificados pela tabela 4 (item 2.4) e considera, assim como Castro, apenas valores de G_{de} iguais ou acima de 15.

A equação utilizada para o cálculo do Grau de deterioração da estrutura (G_d) foi a apresentada no item 2.4.

A tabela 8 indica os resultados encontrados para cada família de elementos e o resultado final do grau de deterioração da estrutura.

Tabela 8 - Resultados obtidos pelo conceito de Castro (1994)

Família	G_{df}	Fr	K
Pilares	56,13	5	280,65
Lajes	122,79	4	491,16
Vigas	45,41	4	181,64
Pistas de rolamento	0	2	0
Guarda corpo	36,64	1	36,64

Cálculo do Grau de Deterioração da Estrutura (G_d)	85,20
--	--------------

Com base conceito de Castro (1994), o nível de deterioração da Ponte do Bragueto foi classificado como sofrível, entre 80 e 100, com recomendações para realização de inspeção especializada rigorosa e intervenção em curto prazo, no caso, em, no máximo, seis meses.

O valor está próximo de 80 e pode ter sido influenciado pela existência de muitas manchas, tanto escurecidas como eflorescências, nas lajes e alguns pontos com irregularidades, que foram consideradas como falhas de

concretagem. Todavia, esses danos podem ter sido executados para drenar a água do caixão perdido.

4.4. Adaptação de Euqeres (2011) e Verly (2015)

A partir do estudo piloto da sua dissertação, Euqeres (2011) constatou a importância da consideração de todos os valores de G_{df} maiores que zero no cálculo de G_{df} .

No conceito elaborado por Castro (1994), onde são considerados apenas elementos com deterioração média, o grau de deterioração de uma família, por vezes, era determinado por apenas um elemento com dano considerável, tornando irrelevantes os demais.

A proposta de Euqeres (2011) tem como objetivo fazer com que todos os elementos da estrutura contribuam na sua avaliação global.

Verly (2015) utilizou a assertiva de Euqeres (2011), porém, modificou a equação que determina o valor de G_d . Como a presente pesquisa se baseia, principalmente, na última adaptação da metodologia, utilizou-se a formulação criada por Verly (2015), apresentada no item 2.4.

Tabela 9 - Resultados obtidos pela adaptação de Euqeres (2011)

Família	G_{df}	Fr	K
Pilares	56,17	5	280,85
Lajes	122,79	4	491,16
Vigas	45,41	4	181,64
Pistas de rolamento	15,58	2	31,16
Guarda corpo	36,64	1	36,64

Cálculo do Grau de Deterioração da Estrutura (G_d)	85,63
--	--------------

O resultado obtido pela proposta de Euqeres (2011), assim como pelo conceito de Castro (1994), determina o nível de deterioração da ponte como sofrível, com pouca diferença no valor final encontrado. Acredita-se que os resultados foram similares em virtude dos poucos elementos da ponte que apresentaram grau de deterioração abaixo de 15.

Contudo, esta aplicação comprova, assim como afirmou Verly (2015), que a consideração de todos os danos existentes em uma estrutura não reduz o valor do seu grau de deterioração.

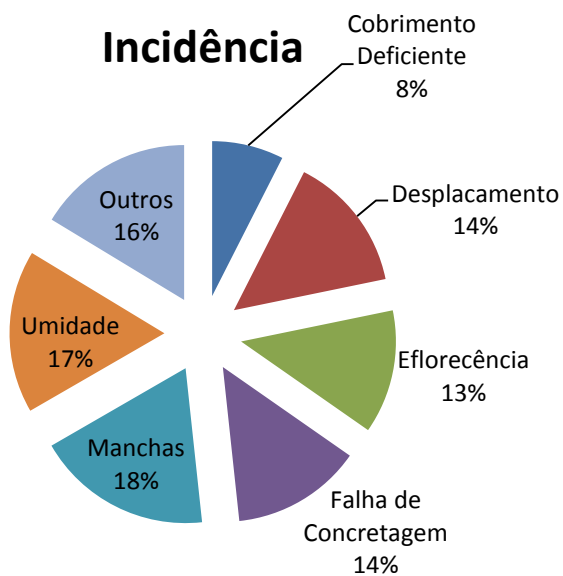
4.5. Incidência dos danos identificados na ponte

Durante as três inspeções realizadas para a verificação dos danos existentes na ponte do Bragueto, foi possível identificar 147 manifestações de patologias diversas, apresentadas na Tabela 10. O gráfico da Figura 22 ilustra a incidência de cada tipo de manifestação patológica verificada.

Tabela 10 - Quadro de manifestações patológicas avaliadas na ponte e seu número de incidências.

Manifestações Patológicas	Incidência	Incidência
Carbonatação	0	0%
Cobrimento Deficiente	11	7%
Contaminação por cloretos	0	0%
Corrosão de Armaduras	4	3%
Desagregação	5	3%
Desplacamento	21	14%
Desvio de Geometria	0	0%
Eflorescência	19	13%
Falha de Concretagem	20	14%
Fissuras	9	6%
Flechas Excessivas	3	2%
Manchas	27	18%
Recalques	0	0%
Sinais de Esmagamento	3	2%
Umidade	25	17%
TOTAL	147	100%

Figura 22 - Incidência de cada patologia na ponte do Bragueto.



Entende-se por outros os danos que obtiveram valor menor a 10% da totalidade das manifestações encontradas. Os danos mais encontrados na Ponte do Bragueto foram manchas escuras e umidade, que se estendem por toda a estrutura e afetam, principalmente, as lajes, como mostra a Figura 23.

Figura 23 - Manchas e indícios de umidade na laje L3.



5. Conclusão

A partir do desenvolvimento de toda a análise da metodologia GDE/UnB como parâmetro para definir as condições de estruturas de concreto armado, conclui-se que:

- As formulações propostas por Castro (1994) e Euqueres (2011), referentes à consideração de apenas danos expressivos ou todos os danos no cálculo do grau de deterioração de uma família de elementos, apresentam, neste trabalho, resultados similares e recomendações de intervenção idênticas. Acredita-se que este resultado se deve aos poucos elementos da ponte que apresentaram grau de deterioração menor do que 15. Este resultado comprova, também, a observação feita por Verly (2015) de que a consideração de todos os danos não diminui o grau de deterioração da estrutura.
- A ponte do Bragueto se encontra em condições sofríveis, segundo a classificação determinada pela metodologia GDE/UnB, necessitando de inspeção especializada rigorosa e intervenção em curto prazo, no máximo, seis meses.
- A família das lajes se destacou, dentre todas as outras, como a de maior impacto no resultado final da metodologia. Esse resultado se deu pelo alto valor de deterioração obtido pelas lajes L2 e L3.
- Os danos mais incidentes na ponte do Bragueto foram as manifestações de manchas e os indícios de umidade, com 18% e 17% de incidências cada.

Conclui-se, por fim, que a metodologia GDE/UnB, para os fins dessa pesquisa, mostrou resultados similares ao esperado pelo estado da ponte, e pode ser considerada adequada para avaliação de pontes e outras estruturas de concreto armado. É importante ressaltar, assim como Castro (1994), a necessidade de um maior número de aplicações da metodologia para adequação e revisão das formulações utilizadas, a fim de torna-la cada vez mais precisa.

5.1. Sugestões para trabalhos futuros

- Verificação da influência da divisão das famílias de elementos no resultado final da deterioração da estrutura;
- Aplicação da metodologia GDE/UnB em todas as pontes sobre o Lago Paranoá, em Brasília, e criação de um banco de dados para tais informações;
- Aplicação da metodologia GDE/UnB nas passarelas subterrâneas do Plano Piloto – DF;
- Elaboração de fatores de intensidade, ponderação do dano e de relevância estrutural, utilizados pela metodologia GDE/UnB, para diversos sistemas estruturais;
- Aplicação da metodologia GDE/UnB em pontes constituídas de outros materiais;
- Definição de serviços de manutenção baseados nos resultados obtidos pela metodologia GDE/UnB.

6. Referências bibliográficas

- AEC WEB, disponível em: http://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/patologias-do-concreto_6160_10_0
- ALMEIDA, J. M. M. R. M. O. **Sistema de gestão de pontes com base em custos de ciclo de vida**. Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2013. 380 p.
- ANDRADE, Tibério. **Tópicos Sobre Durabilidade do Concreto**. In: ISAIA, Geraldo Cechella. (Ed) **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações**. São Paulo: Editora Ibracon, 2005. V1. Cap. 25, p. 753-754, 761,762.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, NBR 15575: **Edificações Habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais**. Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, NBR 6118: **Projeto de estruturas de concreto - Procedimentos**, Rio de Janeiro, 2014, 238p.
- _____. ABNT, NBR 9452: **Vistoria de pontes e viadutos de concreto**, Rio de Janeiro, 2016.
- BOLDO, P. **Avaliação quantitativa de estruturas de concreto armado de edificações no âmbito do Exército Brasileiro**. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2002. 295p.
- CASTRO, E. K. **Desenvolvimento de metodologia para manutenção de estruturas de concreto armado**, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 1994. 185 p.
- CEB-FIB. bulletin 17 - **Management, maintenance and strengthening of concrete structures**, Technical Report, 2002.
- CREA – DF, disponível em: <http://creadf.org.br/index.php/2011-08-19-13-59-20/central-de-noticias/clipping-de-noticias/item/7522-caminhao-fica-pres-na-pon-te-do-bragueto-e-duas-faixas-sao-interditadas>. Acessado em 08/06/2016 08:30
- EUQUERES, P. **Metodologia de inspeção de pontes de concreto armado**, Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, 2011. 168 p.
- FONSECA, R. P. **A estrutura do Instituto Central de Ciências: Aspectos históricos, científicos e tecnológicos de projeto, execução, intervenções e propostas de manutenção**. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2007. 213 p.

GPS BRASÍLIA, disponível em: <http://gpsbrasil.com.br/news/p:0/idp:32490/nm:Brasilia-Esquecida---Ponte-do-Bragueto/>. Acessado em 08/06/2016 08:27

HELENE, P. R. L. **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto**. São Paulo: PINI, 1992.

ISO 6241 **Performance Standards in building** – Principles for their preparation and factors to be considered (Normalização e Desempenho dos Edifícios. Princípios de sua preparação e fatores a serem considerados), 1984.

KLEIN, D. et al. **Critérios adotados na vistoria e avaliação de obras de arte**. XXV Jornada Sul Americana de Engenharia Estrutural, Porto Alegre, pp185–196, Novembro, 1991.

LOPES, B. A. R. **Sistema de manutenção predial para grades estoques de edifícios: Estudo para inclusão do componente “Estrutura de Concreto”**. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 1998. 308 p.

SOUZA, V. C.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: PINI, 1998.

RODAS DA PAZ, disponível em: <http://www.rodasdapaz.org.br/wp-content/uploads/2015/11/Relat%C3%B3rio-TTN-20151123-com-fotos-.pdf>. Acessado em abril de 2016.

SITTER, W.R. **Costs for Service Life Optimization. The “Law of Fives”**. In: CEB-RILEM Durability of Concrete Structures. Proceedings of the International Workshop held in Copenhagen, 18-20 May 1983. Copenhagen, CEB, 1984. (Workshop Reported by Steen Rostam)

VERLY, R. C. **Avaliação de metodologias de inspeção como instrumento de priorização de intervenções em obras de arte especiais**. 2015. xix, 178 f., il. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil)—Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

TUUTTI, K. **Corrosion steel in concrete**. Swedish Cement and Concrete. Research Institute, Stockholm, 1982.

APÊNDICE A - Relatório de aplicação da Metodologia GDE/UnB

Brasília
2016

1. Ficha descritiva

A Tabela A.1 apresenta a ficha descritiva com os dados gerais da inspeção na Ponte do Bragueto, realizada no dia 29/05/2016.

Tabela A. 1 - Ficha descritiva da obra de arte especial

Dados básicos			
Nome da OAE: Ponte do Bragueto			Data da inspeção: <u>29/05/2016</u>
Cidade mais próxima: Brasília			UF: <u>Distrito Federal</u>
Coordenadas GPS:	Altitude (m): 1,71 km	Latitude (S) (°) 15°43'40"	Longitude (W) (°) 47°53'39.44"
Localização (km): DF-002 (Eixo Rodoviário Norte/Sul) / DF-007 (Estrada Parque Torto)			
Natureza da transposição: <u>Ponte</u> / Viaduto sobre rodovia/ Viaduto sobre ferrovia/ Passagem Inferior			
Sistema construtivo: Moldado no local / Pré-moldado/ Balanços sucessivos/ Outro _____			
Comprimento (m): 180 metros		Largura (m): 29 metros	
Classe de Agressividade Ambiental (NBR 6118:2014): I <u>II</u> III IV			
Projetista: SEM ACESSO À DOCUMENTAÇÃO.			
Construtor: SEM ACESSO À DOCUMENTAÇÃO.			
Ano da construção: 1961			
Características da região: Plana Ondulada Montanhosa			
Traçado: Tangente Curvo			
Características dos vãos:			
Número de vãos: 5	Descrição dos vãos: 2 vãos de 10 metros nas extremidades, um vão de 60 metros no centro, dois vãos laterais de 50 metros.		
Responsável pela inspeção:			
Nome: Bárbara Macêdo Ferreira			
Formação: Estudante - Graduanda em Engenharia Civil			
Empresa: UniCEUB			

2. Valores atribuídos para os Fatores de Ponderação (Fp) e os Fatores de Intensidade (Fi)

As tabelas A.2 e A.6 apresentam a listagem dos valores de Fp e Fi para cada dano. Os valores de Fp foram atribuídos previamente, de acordo com as fichas de inspeção recomendadas pelo Manual de Aplicação da Metodologia GDE/UnB a OAEs (Anexo A), com exceção às fissuras, que foram avaliadas em campo para determinação do seu fator de ponderação. Todos os valores de Fi foram conferidos durante a inspeção dos elementos da ponte.

Tabela A. 2 - Fatores de Ponderação e Intensidade para a família dos pilares

Fator de Ponderação (Fp)																
Família	Elementos															
Pilares	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16
Carbonatação	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Cobrimento Deficiente	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Contaminação por cloretos	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Corrosão de Armaduras	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Desagregação	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Desplacamento	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Desvio de Geometria	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Eflorescência	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Falha de Concretagem	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Fissuras	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Manchas	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Recalques	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Sinais de Esmagamento	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Umidade	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Fator de Intensidade (Fi)																
Família	Elementos															
Pilares	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16
Carbonatação	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cobrimento Deficiente	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
Contaminação por cloretos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Corrosão de Armaduras	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Desagregação	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Desplacamento	3	3	0	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Desvio de Geometria	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Eflorescência	3	2	2	2	2	2	2	2	3	2	3	2	2	3	3	2

Falha de Concretagem	0	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1
Fissuras	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Manchas	3	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	2
Recalques	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sinais de Esmagamento	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Umidade	2	1	1	2	3	3	2	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3

Tabela A. 3 - Fatores de Ponderação e Intensidade para a família das lajes

Família	Fp			Fi		
Lajes	L1	L2	L3	L1	L2	L3
Carbonatação	3	3	3	0	0	0
Cobrimento Deficiente	3	3	3	2	2	2
Contaminação por cloretos	3	3	3	0	0	0
Corrosão de Armaduras	5	5	5	2	2	2
Desagregação	3	3	3	3	3	3
Desplacamento	3	3	3	2	3	3
Eflorescência	2	2	2	2	2	2
Falha de Concretagem	2	2	2	1	1	1
Fissuras	4	4	4	1	2	1
Flechas excessivas	5	5	5	1	1	1
Manchas	3	3	3	2	3	3
Umidade	3	3	3	3	4	4

Tabela A. 4 - Fatores de Ponderação e Intensidade para a família das vigas

Família	Fator de Ponderação (Fp)						Fator de intensidade (Fi)					
Vigas	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V1	V2	V3	V4	V5	V6
Carbonatação	3	3	3	3	3	3	0	0	0	0	0	0
Cobrimento Deficiente	3	3	3	3	3	3	0	0	0	0	0	0
Contaminação por cloretos	3	3	3	3	3	3	0	0	0	0	0	0
Corrosão de Armaduras	5	5	5	5	5	5	0	0	0	0	0	0
Desagregação	3	3	3	3	3	3	0	0	0	0	0	0
Desplacamento	3	3	3	3	3	3	2	0	0	0	2	0
Eflorescência	2	2	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0
Falha de Concretagem	2	2	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0
Fissuras	4	4	4	4	4	4	2	2	2	2	2	2
Flechas excessivas	5	5	5	5	5	5	0	0	0	0	0	0
Manchas	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Sinais de esmagamento	5	5	5	5	5	5	0	0	0	0	0	0
Umidade	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2

Tabela A. 5 - Fatores de Ponderação e Intensidade para a família das pistas de rolamento

Família	Fator de Ponderação (Fp)		Fator de Intensidade (Fi)	
	Sentido Lago Norte	Sentido Asa Norte	Sentido Lago Norte	Sentido Asa Norte
Descontinuidade	5	5	2	2
Desgaste superficial	5	5	2	2
Desgaste da sinalização	5	5	1	1

Tabela A. 6 - Fatores de Ponderação e Intensidade para a família dos guarda-corpos

Família	Fp		Fi	
	I	II	I	II
Guarda-corpos, barreiras, guarda-rodas				
Carbonatação	3	3	0	0
Cobrimento Deficiente	3	3	0	0
Contaminação por cloretos	4	4	0	0
Corrosão de Armaduras	5	5	0	0
Desagregação	3	3	3	3
Desplacamento	3	3	0	0
Eflorescência	2	2	0	0
Falha de Concretagem	2	2	2	1
Fissuras	0	0	0	0
Manchas	3	3	2	2
Sinais de Esmagamento	4	4	0	0

3. Valores do Grau do Dano

As tabelas abaixo, A.7 a A.9, apresentam os valores calculados do grau de cada dano, obtidos a partir dos fatores de ponderação e intensidade atribuídos, e estão divididas a partir de cada família de elementos da estrutura.

Tabela A. 7 - Grau de cada dano para a família dos pilares

Grau do Dano do elemento (D) – Pilares															
P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	24	0	24	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	16	3,2	16	3,2	3,2	16	16	3,2
0	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	4,8	2,4	4,8	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	24	24	24	24	24	24	24	4,8
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4,8	2,4	2,4	4,8	24	24	4,8	24	24	24	24	24	4,8	24	24	24

Tabela A. 8 - Grau de cada dano para as famílias das lajes, vigas e guarda-corpos.

Grau do Dano (D)			Grau do Dano (D)						Grau do Dano (D)	
Lajes			Vigas						Guarda-corpos, barreiras, etc.	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	I	II
4,8	4,8	4,8	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	8	8	0	0	0	0	0	0	0	0
24	24	24	4,8	0	0	0	4,8	0	0	0
4,8	24	24	0	0	0	0	0	0	24	24
3,2	3,2	3,2	0	0	0	0	0	0	0	0
1,6	1,6	1,6	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	0	0
3,2	6,4	3,2	0	0	0	0	0	0	3,2	1,6
4	4	4	24	24	24	24	24	24	0	0
4,8	24	24	0	0	0	0	0	0	4,8	4,8
24	60	60	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	0	0

Tabela A. 9 - Grau de cada dano para a família das pistas de rolamento.

Grau do Dano (D)	
Pistas de rolamento	
Sentido Lago Norte	Sentido Asa Norte
8	8
8	8
4	4

4. Demais valores calculados

Os valores obtidos para os graus de deterioração de cada elemento (G_{de}), de cada família (G_{df}) e da estrutura em geral (G_d) já estão apresentadas neste trabalho, nos itens 4.1, 4.2 e 4.3.

5. Registro Fotográfico

Figura A. 1 - Vista geral inferior da Ponte do Bragueto



Figura A. 2 - Cobrimento deficiente



Figura A. 3 - Corrosão da armadura e deslocamento



Figura A. 4 - Corrosão da armadura



Figura A. 5 - Danos por impacto



Figura A. 6 - Desagregação



Figura A. 7 - Desgaste superficial



Figura A. 8 - Desplacamento



Figura A. 9 - Eflorescência



Figura A. 10 - Eflorescência



Figura A. 11 - Falha de concretagem

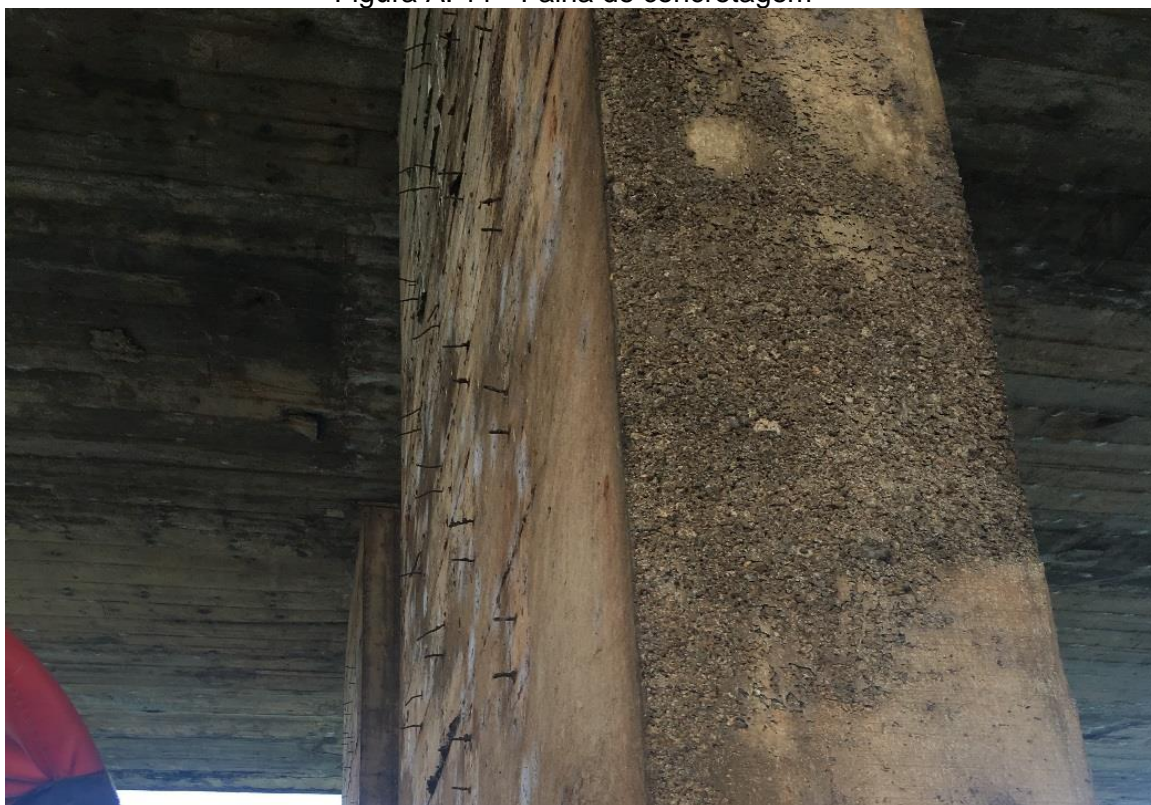
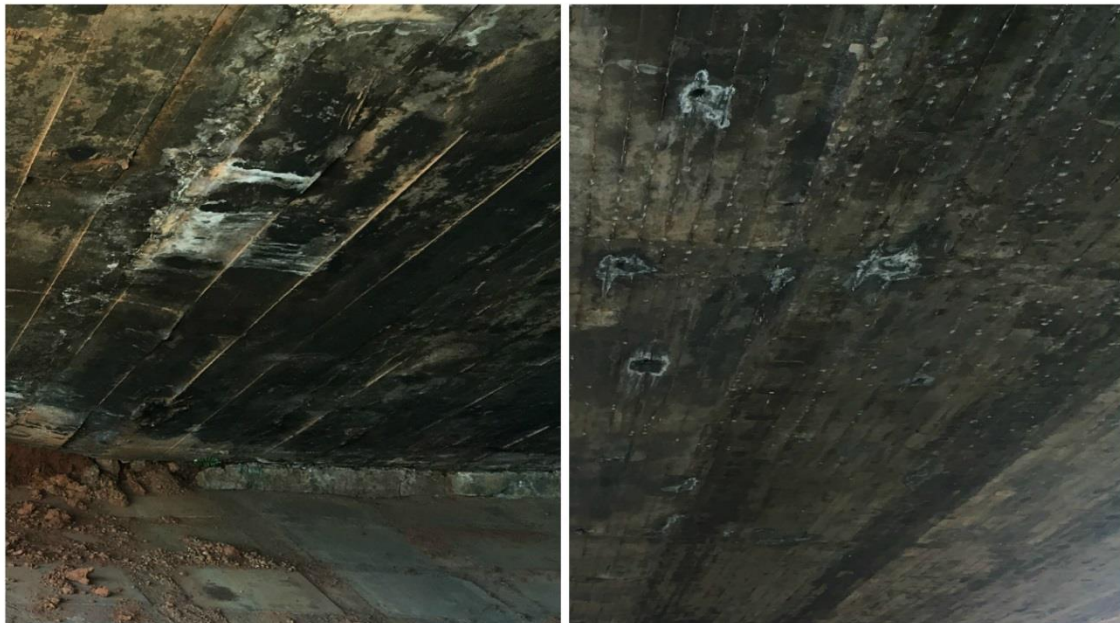


Figura A. 12 - Fissuras



Figura A. 13 - Manchas





Metodologia GDE/UnB

Classificação de Danos e Avaliação da Deterioração de Estruturas de Concreto

Manual de Aplicação da Metodologia GDE/UnB a OBRAS DE ARTE ESPECIAIS

Colaboradores:

João Carlos Teatini S. Clímaco
Antônio Alberto Nepomuceno
Eliane Kraus de Castro
Benedito Arruda Lopes
Plínio Boldo
Regis Pamplonet Fonseca
Priscilla Euqueres
João Henrique da Silva Rêgo
Rogério Calazans Verly

BRASÍLIA, JUNHO DE 2015

1 INTRODUÇÃO

A vida útil de uma estrutura de concreto depende fundamentalmente de manutenção, adequada, tendo em vista, em especial, que os eventuais problemas estruturais detectados no início têm seus efeitos minorados, o que pode reduzir substancialmente os custos de reparo. Entretanto, embora crescente o reconhecimento da importância da manutenção estrutural, são ainda insuficientes, mesmo em países desenvolvidos, as disposições normativas específicas para manutenção de estruturas.

Em geral, as normas recentes são prescritivas e se dedicam às disposições de projeto e execução, tendo como requisito a durabilidade, mas sem estabelecer critérios objetivos para a manutenção das estruturas. A recente norma NBR 15.575:2013¹ define requisitos a serem atendidos pelas edificações quanto ao desempenho acústico e térmico, à segurança contra incêndio, à estanqueidade, à segurança estrutural, à durabilidade e manutenibilidade, dentre outros. Especificamente quanto à manutenibilidade, a referida norma recomenda que a manutenção seja feita com base no *manual de operação, uso e manutenção*, que deve ser fornecido pelo incorporador ou construtor. Essa norma é uma iniciativa que facilitará demasiadamente a manutenção e a garantia do cumprimento da vida útil prevista para uma estrutura.

As demais estruturas, como as Obas de Arte Especiais - OAEs, barragens, galerias e outras não contempladas pela NBR 12.575:2013 devem seguir as diretrizes para a durabilidade definidos pela NBR 6118:2014 e os requisitos para o concreto definidos na NBR 12.655:2006. Neste trabalho, são tomadas como base nas prescrições da NBR 6118:2014, a primeira norma brasileira a estabelecer critérios explícitos sobre durabilidade na etapa de projeto, e nas prescrições aplicáveis da NBR 12.655:2006.

Com o objetivo de avaliar estruturas de concreto, foi desenvolvida no Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília (UnB) uma metodologia para classificação de danos e avaliação da deterioração de estruturas de concreto armado de edificações usuais, que estabelece critérios para a classificação de danos que permitem calcular o grau de deterioração dos elementos estruturais isolados e da estrutura como um todo, indicando as ações necessárias ao desenvolvimento da vida útil prevista (BOLDO, 2002).

A metodologia, denominada GDE/UnB, prevê a realização de inspeções periódicas por engenheiros e técnicos com experiência na área, objetivando avaliar os elementos estruturais nos mais variados aspectos - segurança, funcionalidade e estética, e já foi testada com bons resultados em edifícios com diversas concepções estruturais e destinações de uso. Mostrou-se também eficiente em um estudo que visava sua integração ao sistema de manutenção utilizado pelo Banco do Brasil às suas edificações em todo o território nacional (LOPES, 1998). Isto conduziu, ainda, a uma extensão da pesquisa objetivando a avaliação estrutural de edificações gerenciadas pela Diretoria de Obras Militares do Exército Brasileiro, em todo país (BOLDO, 2002). Ainda no âmbito do PECC, Fonseca (2007) aplicou a metodologia no Instituto Central de Ciências - ICC, localizado no campus da Universidade de Brasília - UnB.

Além das aplicações na avaliação de estruturas de edificações, a metodologia se mostrou aplicável a estruturas de Obras de Arte Especiais - OAEs. Euqueres (2011) aplicou a metodologia em onze pontes com comprimentos variando de 20m a 150m, todas localizadas no

¹ NBR 15.575:2013 - Edificações habitacionais - Desempenho

estado de Goiás.

Além das famílias e fatores propostos por Euqueres (2011), este manual inclui a alteração feita na equação de cálculo do *grau de deterioração da estrutura*, estudada nesta pesquisa.

A avaliação das estruturas é feita mediante um programa de inspeções, com o uso deste manual, e tem por objetivo contribuir para a definição das ações necessárias para a garantia da durabilidade das edificações e OAEs, nos aspectos de segurança, funcionalidade e estética, auxiliando a tomada de decisões de engenheiros e técnicos da área de manutenção e recuperação de estruturas.

2 PARÂMETROS DE INSPEÇÃO

2.1 CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

2.1.1 Agressividade do ambiente

A NBR 6118:2014 apresenta prescrições genéricas sobre a durabilidade de estruturas de concreto, em função da agressividade do meio ambiente, relacionada às ações físicas e químicas previstas, independentemente da atuação de ações mecânicas, variações volumétricas de origem térmica, da retração hidráulica e outras previstas no dimensionamento. A Tabela 2.1, a seguir, apresenta uma classificação da agressividade do ambiente, extraída da Tabela 6.1, NBR 6118:2014, a ser considerada nos projetos de estruturas correntes:

Tabela 2.1 - Classes de agressividade ambiental (Adaptado de NBR 6118:2014)

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural Submersa	Insignificante
II	Média	Urbana ^{a, b}	Pequeno
III	Forte	Marinha ^a Industrial ^{a, b}	Grande
IV	Muito forte	Industrial ^{a, c} Respingos de maré	Elevado

^a Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

^b Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

^c Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

A avaliação da agressividade que um ambiente impõe a uma determinada estrutura depende não só de sua localização geográfica e destinação principal, como são os casos de ambientes rurais ou urbanos, mas também do tipo de agentes agressivos que atuam sobre a estrutura. A Tabela 2.1

ressalta diferenças importantes entre os ambientes industriais das Classe III e IV, levando em consideração que há diferentes tipos de indústrias e por isso diferentes intensidades de agressividade. Edificações onde funcionam indústrias de laticínios, refrigerantes ou de fertilizantes, mesmo podendo estar localizadas em uma área rural, são ambientes quimicamente agressivos e por isso o projetista responsável pelo seu projeto deve avaliar a possibilidade de considerar a Classe IV.

Para complementar o entendimento das diversas possibilidades de deterioração a que as estruturas de concreto armado e protendido estão sujeitas, a NBR 6118:2014 reserva um tópico aos mecanismos de envelhecimento e deterioração das estruturas de concreto. Esses mecanismos podem ser divididos em três grupos, conforme a Figura 1.

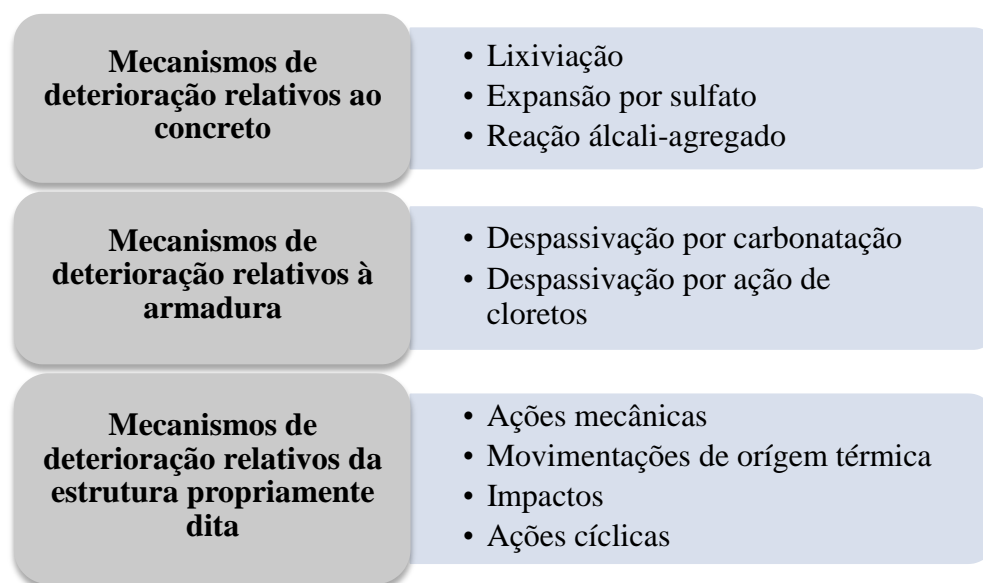


Figura 1 - Mecanismos de envelhecimento e deterioração das estruturas de concreto
(Adaptado de NBR 6118:2014)

O primeiro grupo trata dos ataques diretos ao concreto, causando o carreamento de materiais solúveis, como o hidróxido de cálcio - $\text{Ca}(\text{OH})_2$, deixando a estrutura do concreto mais porosa e acessível a agentes agressivos. Além do carreamento de seus materiais constituintes, o concreto está sujeito a reações que dão origem a produtos expansivos, que geram tensões internas que podem comprometer a integridade do concreto.

Da mesma forma que o concreto, o aço também está sujeito a deterioração, e o principal mecanismo é a sua corrosão. O aço em meio alcalino (pH em torno de 12,5) não apresenta as condições necessárias para o início do processo corrosivo, e nesse caso pode-se dizer que a armadura está passivada. A carbonatação do concreto e a ação de cloretos faz com que a armadura se despassive, permitindo então que o processo corrosivo se instale. Além dos fenômenos citados até agora, a estrutura ainda está sujeita a ações mecânicas, impactos, dentre outras, que causam danos que podem comprometer a vida útil da estrutura.

Um importante complemento normativo nacional às prescrições da NBR 6118:2014, é a NBR 12.655:2006, que ratifica as classes de agressividade ambiental apresentadas naquela norma, e traz requisitos específicos para os concretos em condições especiais de exposição, como a necessidade de baixa impermeabilidade a água, exposição a processos de congelamento e descongelamento ou a agentes químicos de degelo. Dependendo da condição de exposição são

prescritos valores máximos para a relação água/cimento e valores mínimos para a resistência característica do concreto (f_{ck}).

No que se refere ao ataque do concreto por sulfatos, a NBR 12.655:2006 classifica a condição de exposição de acordo com a quantidade de sulfato solúvel (SO_4) em água no solo ou presente na água, conforme a Tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Requisitos para concreto exposto a solução com sulfatos (Adaptado de NBR 12.655:2014)

Condições de exposição em função da agressividade	Sulfato solúvel em água (SO_4) presente no solo (% em massa)	Sulfato solúvel (SO_4) presente a água (ppm)	Máxima relação água/cimento, em massa, para concreto com agregado normal*	Mínimo f_{ck} (para concreto com agregado normal ou leve) MPa
Fraca	0,00 a 0,10	0 a 150	--	--
Moderada**	0,10 a 0,20	150 a 1.500	0,50	35
Severa***	Acima de 0,20	Acima de 1.500	0,45	40

* Baixa relação água/cimento ou elevada resistência podem ser necessárias para a obtenção de baixa permeabilidade do concreto ou proteção contra a corrosão da armadura ou proteção a processos de congelamento e degelo.

** Água do mar.

*** Para condições severas de agressividade, devem ser obrigatoriamente usados cimentos resistentes a sulfatos.

Os sulfatos não oferecem riscos diretos à armadura, uma vez que atuam no concreto reagindo com os aluminatos presentes. Por outro lado, os cloretos atuam diretamente sobre as armaduras de reforço do concreto. Nesse sentido, a NBR 12.655:2014 define o valor máximo da concentração de cloretos no concreto endurecido, considerando a contribuição de todos os componentes do concreto no aporte de cloretos, conforme a Tabela 2.3.

Tabela 2.3 - Teor máximo de íons cloreto para proteção das armaduras do concreto

Tipo de estrutura	Teor máximo de íons cloreto (Cl^-) no concreto (% sobre a massa de cimento)
Concreto protendido	0,05
Concreto armado exposto a cloretos nas condições de serviço da estrutura	0,15
Concreto armado em condições de exposição não severas (seco ou protegido da umidade nas condições de serviço da estrutura)	0,40
Outros tipos de construção em concreto armado	0,30

Apesar de serem requisitos específicos para o concreto e para o aço, as ações do ambiente sobre uma estrutura sempre apresentam efeitos colaterais. Um exemplo é a ação dos íons cloreto, que apesar de não afeta diretamente a microestrutura do concreto, pode criar as condições para o início do processo corrosivo. Os produtos de corrosão possuem volume muito maior que o do aço, provocando tensões internas. Se o concreto não resistir a esses esforços, fissuras serão

abertas abrindo ainda mais caminhos para o acesso de agentes agressivos. Por outro lado, os sulfatos não atuam diretamente sobre as armaduras, mas se houver condições propícias, provocará reações expansivas fazendo com que o concreto se fissure, abrindo caminho para o CO_2 ou íons cloreto que despassivação as armaduras dando início ao processo corrosivo.

2.1.2 Identificação dos elementos estruturais

A aplicação da Metodologia GDE/UnB exige uma representação gráfica consistente da estrutura (plantas de fôrmas, cortes, croquis, etc.), que permita localizar e identificar, de maneira precisa, os elementos vistoriados, quanto à natureza, localização na estrutura, dimensões, tipos de ambiente, etc. É, também, essencial uma documentação fotográfica adequada da estrutura e das etapas da inspeção, que pode contribuir substancialmente para o processo de avaliação de danos e para a elaboração de diagnósticos e laudos técnicos.

Além do levantamento de toda a documentação disponível sobre a estrutura, na etapa de planejamento devem ser avaliadas as condições de acesso aos elementos estruturais. A depender da localização da estrutura, equipamentos especiais podem ser necessários. No caso de pontes extensas sobre rios muito largos, são necessários barcos para o acesso a toda a extensão da face inferior do tabuleiro. Em inspeções mais detalhadas de viadutos ou pontes muito altas, pode ser necessário o uso de cordas e técnicas de alpinismo para o acesso pormenorizado a toda a estrutura.

2.2 Conceituação dos tipos frequentes de danos em estruturas de concreto

Apresenta-se, a seguir, uma listagem dos danos mais frequentes em estruturas de concreto, em ordem alfabética, com uma conceituação concisa e sem se pretender esgotar os temas abordados. O objetivo é buscar maior uniformidade nas inspeções e padronizar a terminologia utilizada, de modo a permitir, posteriormente, a obtenção de resultados mais consistentes e menor subjetividade na quantificação dos danos com o uso da formulação da Metodologia GDE/UnB. É indispensável destacar a importância da consulta a bibliografias complementares, algumas referenciadas neste texto.

a) Carbonatação:

Fenômeno decorrente da penetração na rede de poros do concreto do dióxido de carbono, CO_2 , presente no ar, e de sua reação com os constituintes alcalinos da pasta de cimento, principalmente o hidróxido de cálcio. A carbonatação da cal reduz o pH do concreto e provoca a despassivação das armaduras, ou seja, a redução da sua capacidade de proteção do aço contra a corrosão. A carbonatação pode ser detectada por meio de um ensaio simples, com a aplicação na superfície do concreto de uma solução de fenolftaleína com indicador. A parte carbonatada do concreto deve ficar incolor ($\text{pH} < 8,5$) e a não carbonatada adquire a cor vermelho-carmim.

b) Cobrimento deficiente:

A NBR 6118:2014 recomenda que o projeto e a execução dos elementos constitutivos das estruturas de concreto devem respeitar os valores prescritos para o cobrimento nominal (c_{nom}) da camada de concreto sobre as armaduras de aço, definido como o cobrimento mínimo acrescido de uma tolerância de execução (Δc). Quando houver um controle de qualidade rigoroso, pode ser adotado um valor $\Delta c = 5\text{ mm}$. Em caso contrário, nas obras correntes, deve ser, no mínimo, $\Delta c = 10\text{ mm}$, resultando nos cobrimentos nominais indicados na Tabela 2.4.

Segundo a norma, os cobrimentos nominais e mínimos são sempre referidos à superfície da armadura mais externa, em geral os estribos. O cobrimento nominal de uma determinada barra deve sempre ser:

$$c_{nom} \geq \Phi_{barra} \quad (\text{Expressão 1.1})$$

$$c_{nom} \geq \Phi_{feixe} = \Phi_n = \Phi \sqrt{n}$$

$$c_{nom} \geq 0,5 \Phi_{bainha}$$

Tabela 2.4 - Correspondência entre classe de agressividade ambiental e cobrimento nominal para $\Delta c = 10 \text{ mm}$ (Adaptado de NBR 6118:2014)

c_{nom} (mm)	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental			
		I	II	III	IV ³⁾
Concreto armado	Laje ²⁾	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	55
Concreto protendido ¹⁾	Todos	30	35	45	55

¹⁾ Cobrimento nominal da armadura passiva que envolve a bainha ou os fios, cabos e cordoalhas, sempre superior ao especificado para o elemento de concreto armado, devido aos riscos de corrosão fragilizante sob tensão.

²⁾ Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento tais como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos, e outros tantos, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelo exposto abaixo da tabela, respeitado um cobrimento nominal $\geq 15 \text{ mm}$.

³⁾ As faces inferiores de lajes e vigas de reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos devem ter cobrimento nominal $\geq 45 \text{ mm}$.

c) **Contaminação por cloretos:**

Contaminação do concreto causada pelo emprego na execução do concreto de aditivos à base de cloretos, com teor excessivo, ou pela penetração de cloretos presentes no meio ambiente, como no caso de regiões à beira-mar. É um dano comum em peças pré-moldadas, quando se pretende acelerar a cura com aditivos à base de cloretos. As manifestações mais comuns são as fissuras, locais ou generalizadas, sobre as armaduras e a presença de manchas no concreto pela retenção de umidade, frequentemente com a criação de fungos. Os cloretos podem ser também incorporados ao concreto pelo uso de água da rede pública no amassamento ou introduzidos nas operações de limpeza de pisos e fachadas, com a utilização de soluções de *HCl* em baixas concentrações (ácido muriático) (Nepomuceno, 1999).

d) **Corrosão de armaduras:**

A corrosão é um processo físico-químico gerador de óxidos e hidróxidos de ferro, produtos que ocupam um volume significativamente superior (em até 6 vezes) ao volume original das armaduras, sujeitando o concreto a elevadas tensões de tração (da ordem de até 15 MPa). Essas tensões ocasionam a fissuração do concreto e o posterior lascamento da camada de cobrimento do concreto (Cánovas, 1988). No seu início, a corrosão se manifesta na superfície do elemento estrutural com o aparecimento de manchas marrom-avermelhadas ou

esverdeadas, em razão da lixiviação do concreto (dissolução e arraste do hidróxido de cálcio da massa endurecida) dos produtos de corrosão, evoluindo com o tempo e podendo chegar até à perda total da seção da armadura.

e) **Desagregação do concreto:**

Fenômeno característico de ataques químicos do concreto, em formas diversas - lixiviação, reação álcali-agregado, reações expansivas com sulfatos, com a separação física de placas ou fatias de concreto, comprometendo o monolitismo do elemento. Na maioria das vezes, causa a perda da resistência de engrenamento entre os agregados (*aggregate interlock*) e da capacidade aglomerante da pasta (Sousa, 1999). Pode ocorrer, também, por ações biológicas (raízes e micro-organismos) ou, ainda, por dosagem incorreta e execução deficiente do concreto, perante as ações dos agentes agressivos (abrasão, vento, chuva, etc.).

f) **Deslocamento por empuxo:**

Deslocamento proveniente da pressão ativa exercida por um maciço não-coesivo sobre um anteparo vertical. Nos muros, cortinas ou paredes de contenção de concreto é causado pelo empuxo de terra ou água. Esses elementos devem ser providos de drenos, para evitar o acúmulo de água no terrapleno que suporta e que resultaria em acréscimo do empuxo hidrostático. Os deslocamentos causados pela saturação do maciço podem, ainda, ser agravados pela passagem de veículos.

g) **Desvios de geometria:**

Perda da verticalidade e do alinhamento de elementos estruturais em relação ao seu eixo, produzindo excentricidade adicional das forças atuantes. Pode ter como causas: deficiências na execução por movimentação ou incorreção de fôrmas e escoamentos ou por movimentação da estrutura, pela ação de esforços imprevistos ou não considerados corretamente no projeto.

h) **Eflorescência em superfícies de concreto:**

Precipitação de crostas brancas de carbonato de cálcio na superfície do concreto, quando os produtos da lixiviação interagem com o CO_2 presente no ar. Essa precipitação resulta da ação de águas puras e brandas no concreto, causando a hidrólise da pasta de cimento e dissolução dos produtos de cálcio. Teoricamente, a hidrólise da pasta continua até que a maior parte do hidróxido de cálcio tenha sido retirada por lixiviação, expondo os outros constituintes cimentícios à decomposição química. O processo produz géis de sílica e alumina, com pouca ou nenhuma resistência, e consequente perda significativa da resistência da pasta de cimento pela lixiviação da cal (Mehta, 1994). O fenômeno causa aumento da porosidade do concreto, sendo considerado similar à osteoporose do osso humano e podendo levar, em um espaço de tempo relativamente curto, à ruína do elemento estrutural (Souza, 1999). O pesquisador russo Skrylnikov (1933) chamava, figuradamente, esta forma de deterioração de “a morte branca do concreto” (apud Moskvín, 1980).

i) **Falhas de concretagem (nichos ou ninhos de concreto):**

Deficiência na concretagem da peça, com a ocorrência de vazios e exposição de agregados, por um ou mais dos fatores: dosagem inadequada do concreto, diâmetro máximo do agregado grão não condizente com as dimensões da peça, lançamento e/ou adensamento inadequados, taxas excessivas e espaçamento inadequado de armaduras e perda de nata de cimento por aberturas nas formas. Pode haver situações em que não somente os agregados

ficam expostos, mas haja exposição de barras das armaduras dos elementos estruturais, propiciando o início de processo corrosivo.

j) Fissuração inaceitável:

A fissuração em elementos estruturais de concreto armado é inevitável, devido à variabilidade do concreto e à sua baixa resistência aos esforços de tração. No entanto a abertura das fissuras deve ser controlada de modo a se garantir a proteção das armaduras à corrosão e também promover a aceitabilidade sensorial dos usuários.

A NBR 6118: 2014 prescreve que a fissuração em elementos de concreto é nociva quando a abertura das fissuras na superfície ultrapassa os seguintes valores:

- Armaduras passivas: desde que a abertura característica das fissuras (w_k) fique entre 0,2mm e 0,4mm para as combinações frequentes, não representam importância significativa para a corrosão das armaduras;
- Armaduras ativas: há a possibilidade de corrosão sob tensão, portanto esses limites devem ser avaliados com base na Classe de Agressividade Ambiental - CAA (Tabela 2.1). Em resumo, pode-se dizer que não são aceitas fissuras para a protensão limitada e completa. No caso da protensão parcial, são aceitas fissuras menores que 0,2mm apenas para a CAA I;
- Aceitabilidade sensorial: mesmo que as fissuras estejam abaixo dos limites indicados na NBR 6118:2014, elas não devem causar desconforto psicológico aos usuários, o que geralmente ocorre com fissuras ativas.

k) Flechas excessivas:

A NBR 6118: 2014 prescreve limites para os deslocamentos das peças de estruturas de concreto, fazendo distinção entre a “aceitabilidade sensorial”, para prevenir a ocorrência sensações desagradáveis aos usuários, efeitos específicos referentes à utilização da estrutura, efeitos nos elementos não estruturais e efeitos nos elementos estruturais (Tabela 2.5).

Tabela 2.5 - Limites para deslocamentos em estruturas de concreto armado e protendido (NBR 6118:2014)

Tipo de efeito	Razão da limitação	Exemplos	Deslocamento a considerar	Deslocamento limite
Aceitabilidade sensorial	Visual	Deslocamentos visíveis em elementos estruturais	Total	L/200
	Outro	Vibrações sentidas no piso	Devido a cargas acidentais	L/350
Efeitos estruturais em serviço	Superfícies que devem drenar água	Coberturas e varandas	Total	L/250
Efeitos em elementos estruturais	Afastamento em relação à hipóteses de cálculo adotadas	Se os deslocamentos forem relevantes para o elemento considerado, seus efeitos sobre as tensões ou sobre a estabilidade da estrutura devem ser considerados, incorporando-os ao modelo estrutural adotado.		

Foram transcritos na Tabela 2.5 apenas alguns valores aplicáveis às estruturas de Obras de Arte Especiais - AOE's, sendo deixados fora aqueles referentes aos efeitos em elementos não estruturais, como paredes, forros e pontes rolantes.

l) Manchas:

Ocorrência de manchas escuras em superfícies de concreto, causadas pela contaminação por fungos, mofo, etc., principalmente nas partes expostas da estrutura. Nessa categoria de danos, não devem ser consideradas outras manchas como as relacionadas à corrosão e eflorescências.

m) Obstrução de juntas de dilatação:

A junta de dilatação é uma separação física entre partes de uma estrutura, para que possam ocorrer movimentos sem a transmissão de forças e deslocamentos entre os elementos separados pela junta. A presença de material rígido ou o material de preenchimento da junta que tenha perdido a sua elasticidade produz tensões indesejáveis na estrutura, podendo ocasionar fissuras em elementos estruturais adjacentes à junta. Os sistemas de vedação e enchimento das juntas devem acomodar a amplitude dos seus movimentos.

n) Recalque de fundações:

O recalque provoca movimentação na estrutura que, conforme o seu tipo, pode ser afetada pelo assentamento total máximo (recalque uniforme), pela inclinação uniforme (desaprumo) ou por assentamentos diferenciais (recalques diferenciais e distorções angulares).

Os recalques distorcionais das fundações não são admissíveis estruturalmente, ocorrendo por deformações excessivas, e podem ser causados por um ou mais dos seguintes fatores: estimativa incorreta de cargas no cálculo estrutural; avaliação errônea dos esforços provenientes da estrutura sobre as fundações; modelos inconvenientes de cálculo das fundações; ausência, insuficiência ou má qualidade das investigações geotécnicas; má interpretação dos resultados da investigação geotécnica; adoção inadequada da tensão admissível do solo ou da cota de apoio das fundações; influências externas (escavações ou deslizamentos não previsíveis, agressividade ambiental, enchentes, construções vizinhas, descalçamento das fundações por escavações vizinhas); colapso do solo (por exemplo, devido à ruptura de tubulações subterrâneas ou vazamentos em reservatórios subterrâneos); alteração do nível do lençol freático; modificação no carregamento devido a mudança de utilização da estrutura (alargamentos das OAE's), efeito piscina (entupimento de drenos), sobrecargas não previstas; cargas dinâmicas (vibrações, tremores de terra, etc.) e, por fim, falhas de manutenção em obras críticas.

o) Sinais de esmagamento do concreto:

Processo de desintegração do concreto, podendo ser causado por erros de cálculo, sobrecargas excessivas, redistribuição de esforços ou movimentação da estrutura. No caso de pilares, caracteriza-se pelo aparecimento de fissuras diagonais e/ou verticais, podendo evoluir para um intenso lascamento do concreto, com perda de seção e flambagem das armaduras. Há também o caso de falhas nos aparelhos de apoio, que deveriam transmitir os esforços entre dois elementos estruturais, liberando alguns movimentos e suas respectivas reações. Nesse último caso ocorre o contato direto entre os dois elementos, causando concentração de tensões e posterior esmagamento do concreto.

p) Umidade excessiva na infra-estrutura:

A umidade excessiva na base de pilares e/ou em blocos de fundação, pela seu potencial agravamento com o favorecimento de recalques, é considerada um dano específico. Pode ser proveniente de deficiência no escoamento de águas pluviais, vazamento em tubulações da própria edificação ou adjacentes, vazamento em reservatórios enterrados, etc.

3 CÁLCULO DO GRAU DE DETERIORAÇÃO DOS ELEMENTOS E DA ESTRUTURA

3.1 Preliminares

São apresentados, a seguir, os parâmetros para aplicação da metodologia que visa quantificar os graus de deterioração dos elementos e da estrutura. Partindo dos fatores de ponderação e de intensidade dos danos nos elementos, faz-se a determinação sequencial dos graus dos danos existentes em cada elemento estrutural, dos graus de deterioração dos elementos e das famílias de elementos de mesma natureza, e, por fim, do grau de deterioração da estrutura, conforme proposto por Castro, Clímaco e Nepomuceno (1995).

O Anexo 2 deste roteiro apresenta as tabelas A.2, a serem preenchidas mediante inspeções da estrutura por técnicos treinados. Como complemento da inspeção da estrutura, e com o objetivo de confrontar os resultados da aplicação da metodologia com a situação física real da edificação, é altamente recomendável que seja feita uma ampla documentação fotográfica, que deverá constar do Relatório de Avaliação.

3.2 Fator de ponderação do dano (F_p)

Fator que visa quantificar a importância relativa de um determinado dano, no que se refere às condições gerais de estética, funcionalidade e segurança dos elementos de uma família, tendo em vista as manifestações patológicas passíveis de serem neles detectadas. Para sua definição são estabelecidos os problemas mais relevantes quanto aos aspectos de durabilidade e segurança estrutural. Assim, para cada manifestação patológica, e em função da família de elementos que apresentam o problema, foi estabelecido um grau numa escala de 1 a 5. Uma determinada manifestação patológica pode ter fatores de ponderação diferentes de acordo com as características da família onde o elemento se insere, dependendo das consequências que o dano possa acarretar.

3.3 Fator de intensidade do dano (F_i)

Fator que classifica a gravidade e evolução de uma manifestação de dano em um determinado elemento, segundo uma escala de 0 a 4, como segue:

- elemento sem lesões	$F_i = 0$
- elemento com lesões leves	$F_i = 1$
- elemento com lesões toleráveis	$F_i = 2$
- elemento com lesões graves	$F_i = 3$
- elemento em estado crítico	$F_i = 4$

A Tabela A.1 do Anexo 2 deste texto apresenta uma classificação dos danos mais frequentes em edificações usuais com estrutura de concreto armado, com uma identificação do nível de

gravidade das lesões e descrição sucinta das intensidades das manifestações, conforme características específicas, para fins de aplicação desta metodologia.

O Anexo 3 deste roteiro, com fotos ilustrativas, foi inserido com a finalidade de facilitar a identificação dos danos e a atribuição dos fatores de intensidade.

3.4 Grau do dano (D), Grau de deterioração de um elemento (G_{de}), Grau de deterioração de uma família de elementos (G_{df}) e Grau de deterioração da estrutura (G_d)

O grau de cada dano no elemento estrutural é calculado em função do fator de ponderação (F_p) e respectivo fator de intensidade (F_i), atribuídos conforme este Roteiro de Inspeção. A formulação original e os procedimentos para o cálculo dos graus de deterioração dos elementos, das famílias de elementos e da estrutura (global) são apresentados no artigo de Castro, Clímaco e Nepomuceno (1995). Essa formulação foi posteriormente aperfeiçoada nos trabalhos de Lopes (1998) e Boldo (2002), com base em dezenas de aplicações da metodologia.

No Anexo 1, são apresentadas as fórmulas para o cálculo do Grau do Dano (D), Grau de deterioração do elemento (G_{de}), Grau de deterioração de uma família de elementos (G_{df}) e Grau de deterioração da estrutura (G_d).

4 PLANILHAS DE DANOS PARA FAMÍLIAS DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS

A Tabela A.2 apresenta as planilhas específicas para as famílias de elementos mais comuns em estruturas de concreto de edificações usuais, com os danos possíveis e os respectivos fatores de ponderação, para uso na presente metodologia. Os fatores sugeridos na tabela foram definidos a partir de uma gama extensa de testes de aplicação (Castro, 1994; Lopes, 1998; Boldo, 2002). Os valores numéricos atribuídos aos fatores não devem, no entanto, ser encarados de forma determinística, podendo ser modificados, segundo as indicações de cada análise específica.

REFERÊNCIAS DO APÊNDICE

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**, Rio de Janeiro, 2014, 238p.
- BOLDO, P. **Avaliação quantitativa de estruturas de concreto armado de edificações no âmbito do Exército Brasileiro**. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2002. 295p.
- BOLDO, P., CLÍMACO, J. C. T. S. Avaliação quantitativa de estruturas de concreto armado de edificações no âmbito do Exército Brasileiro, In: XXX Jornadas Sul Americanas de Engenharia Estrutural, Brasília, DF, 2002.
- CÁNOVAS, M. F. **Patologia e terapia do concreto armado**. São Paulo: Pini, 1988. 522 p.
- CAPUTO, H.P. **Mecânica dos Solos e suas aplicações**, v. 2, Livros Técnicos e Científicos Editora S. A., Rio de Janeiro, 1981.
- CASTRO, E. K. **Desenvolvimento de metodologia para manutenção de estruturas de concreto armado**, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 1994. 185 p.
- CASTRO, E. K., CLÍMACO, J. C. T. S., NEPOMUCENO, A. A. (1995) - Desenvolvimento de uma metodologia de manutenção de estruturas de concreto armado", 37º. Congresso Brasileiro do Concreto, Instituto Brasileiro do Concreto - Ibracon, **Anais**, v.1, pp. 293-307, Goiânia.
- CASTRO, E. K., CLÍMACO, J. C. T. S. - Avaliação da estrutura de uma edificação residencial após o reparo de elementos danificados. In: 41º Congresso Brasileiro do Concreto, Instituto Brasileiro do Concreto - Ibracon, **Anais**, Salvador, 1999.
- CLÍMACO, J. C. T. S, NEPOMUCENO, A. A. **Patologia, recuperação e manutenção de estruturas**, Notas de Aula, Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil, Universidade de Brasília, 1999.
- FONSECA, R. P. **A estrutura do Instituto Central de Ciências: Aspectos históricos, científicos e tecnológicos de projeto, execução, intervenções e propostas de manutenção**. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2007. 213 p.
- LOPES, B. A. R. **Sistema de manutenção predial para grandes estoques de edifícios: Estudo para inclusão do componente "Estrutura de Concreto"**. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 1998. 308 p.
- LOPES, B. A. R.; CLÍMACO; J. C. T. S., NEPOMUCENO; A. A., CASTRO; E. K. Sistema de manutenção para grandes estoques de edifícios. In: CONPAT 99, **Anais**, v. 3, p. 1897-1905, Montevideu, Uruguai, 1999.



MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto:** microestrutura, propriedades e materiais. 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2008. 674 p.

MOSKVIN, V.; IVANOV, F.; ALEKSEYEV, S.; GUZEYEV, E. *Concrete and Reinforced Concrete Deterioration and Protection*, Mir Publishers, Moscow, Russia, 1983.

SOUZA, V. C. RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto.** São Paulo: Pini, 1999. 257 p.

VARGAS, M. Introdução à Mecânica dos Solos”, Editora McGraw-Hill, São Paulo, 1981.



ANEXO 1

**Formulação para avaliação quantitativa da
deterioração de estruturas de concreto e ações
recomendadas segundo os níveis de
deterioração**

Grau de um Dano (D)

$$D = 0,8 F_i F_p \quad \text{para } F_i \leq 2,0$$

$$D = (12 F_i - 28) F_p \quad \text{para } F_i > 2,0$$

Grau de deterioração de um elemento (G_{de})

$$G_{de} = D_{máx} \left[1 + \frac{\left(\sum_{i=1}^n D_i \right) - D_{máx}}{\sum_{i=1}^n D_i} \right]$$

Tabela 1 – Classificação dos níveis de deterioração do elemento e ações recomendadas

Nível de deterioração	G_{de}	Ações recomendadas
Baixo	0 - 15	Estado aceitável. Manutenção preventiva.
Médio	15 - 50	Definir prazo e natureza de nova inspeção. Planejar intervenção em longo prazo (máximo 2 anos).
Alto	50 - 80	Definir prazo para inspeção especializada. Planejar intervenção em médio prazo (máximo 1 ano).
Sofrível	80 - 100	Definir prazo para inspeção especializada rigorosa. Planejar intervenção em curto prazo (máximo 6 meses).
Crítico	> 100	Inspeção especializada imediata e medidas emergenciais (alívio de cargas, escoramento, etc.). Planejar intervenção imediata.

Grau de deterioração de uma família de elementos (G_{df})

$$G_{df} = G_{de,máx} \left[1 + \frac{\left(\sum_{i=1}^m G_{de,i} \right) - G_{de,máx}}{\sum_{i=1}^m G_{de,i}} \right]$$

Fatores de relevância estrutural das famílias de elementos (F_r)

Família	F_r
Barreiras, guarda-corpo, guarda rodas, pista de rolamento	1
Juntas de dilatação	2
Transversinas, cortinas, alas	3
Lajes, fundações, vigas secundárias, aparelhos de apoio	4
Vigas e pilares principais	5

Grau de Deterioração da Estrutura (G_d)

$$G_d = \frac{K_{máx}}{7,07} \sqrt{1 + \frac{\left(\sum_{i=1}^k K_i\right) - K_{máx}}{\sum_{i=1}^k K_i}}$$

Tabela 2 – Classificação dos níveis de deterioração da estrutura e ações recomendadas

Nível de deterioração	G_{de}	Ações recomendadas
Baixo	$0 > 15$	Estado aceitável. Manutenção preventiva.
Médio	$15 - 50$	Definir prazo e natureza de nova inspeção. Planejar intervenção em longo prazo (máximo 2 anos).
Alto	$50 - 80$	Definir prazo para inspeção especializada. Planejar intervenção em médio prazo (máximo 1 ano).
Sofrível	$80 > 100$	Definir prazo para inspeção especializada rigorosa. Planejar intervenção em curto prazo (máximo 6 meses).
Crítico	> 100	Inspeção especializada imediata e medidas emergenciais (alívio de cargas, escoramento, etc.). Planejar intervenção imediata.



ANEXO 2

Tabelas de classificação dos fatores de intensidade e de ponderação dos danos

Tabela A.1: Classificação dos danos e fatores de intensidade (F_i)

Tipos de danos	Valores de F_i
Carbonatação	<ul style="list-style-type: none">1 → localizada, com regiões com $\text{pH} < 9$, sem afetar as armaduras.2 → localizada, atingindo a armadura, em ambiente seco.3 → localizada, atingindo a armadura, em ambiente úmido.4 → generalizada, atingindo a armadura, em ambiente úmido.
Cobrimento deficiente	<ul style="list-style-type: none">1 → menores que os previstos em norma sem, no entanto, permitir a localização da armadura.2 → menor que o previsto em norma, permitindo a localização visual da armadura ou armadura exposta em pequenas extensões.3 → deficiente, com armaduras expostas em extensões significativas.
Contaminação por cloretos	<ul style="list-style-type: none">2 → elementos abrigados sem umidade3 → elementos no exterior sem umidade4 → ambientes úmidos.
Corrosão de armaduras	<ul style="list-style-type: none">2 → manifestações leves, pequenas manchas.3 → grandes manchas e/ou fissuras de corrosão.4 → corrosão acentuada da armadura principal, com perda relevante de seção ($> 20\%$ do diâmetro).
Desagregação	<ul style="list-style-type: none">2 → início de manifestação.3 → manifestações leves, início de estofamento do concreto.4 → por perda acentuada de seção e esfrelamento do concreto.
Deslocamento por empuxo	<ul style="list-style-type: none">3 → deslocamento lateral da cortina no sentido horizontal, estável.4 → deslocamento lateral da cortina no sentido horizontal, instável.
Desplacamento	<ul style="list-style-type: none">2 → pequenas escamações do concreto.3 → lascamento de grandes proporções, com exposição da armadura.4 → lascamento acentuado com perda relevante de seção.
Desvios de Geometria	<ul style="list-style-type: none">2 → pilares e cortinas com excentricidade $e \leq h/100$ ($h = \text{altura}$).3 → pilares e cortinas com excentricidade $h/100 \leq e < h/50$.4 → pilares e cortinas com excentricidade $e \geq h/50$.
Eflorescência	<ul style="list-style-type: none">1 → início de manifestações.2 → manchas de pequenas dimensões.3 → manchas acentuadas, em grandes extensões.4 → grandes formações de crostas de carbonato de cálcio (estalactites).
Falha de concretagem	<ul style="list-style-type: none">1 → superficial e pouco significativa em relação às dimensões da peça.2 → significativa em relação às dimensões da peça.3 → significativa em relação às dimensões da peça, com ampla exposição da armadura.4 → perda relevante da seção transversal da peça ($> 20\%$ da área).
Fissuras	<ul style="list-style-type: none">1 → abertura menores do que as máximas previstas em norma.2 → estabilizadas, com abertura até 40% acima dos limites de norma.3 → aberturas excessivas; estabilizadas.4 → aberturas excessivas; não estabilizadas.

Tabela A.2: Classificação dos danos e fatores de intensidade (F_i)

Tipos de danos	Valores do Fator de Intensidade do Dano
Flechas	<p>1 → não perceptíveis a olho nu.</p> <p>2 → perceptíveis a olho nu, dentro dos limites previstos na norma.</p> <p>3 → superiores em até 40% às previstas na norma.</p> <p>4 → excessivas.</p>
Impermeabilização deficiente	<p>2 → danos na camada protetora e/ou perda de elasticidade do material da impermeabilização.</p> <p>3 → descontinuada, degradada em alguns pontos (pontos de infiltração).</p> <p>4 → degradação acentuada, com perda relevante da estanqueidade.</p>
Infiltração de água	<p>1 → indícios de umidade.</p> <p>2 → pequenas manchas.</p> <p>3 → grandes manchas.</p> <p>4 → generalizada.</p>
Manchas	<p>2 → manchas escuras de pouca extensão, mas significativas (< 50% da área visível do elemento estrutural).</p> <p>3 → manchas escuras de grande extensão (> 50%).</p> <p>4 → manchas escuras em todo o elemento estrutural (100%).</p>
Obstrução de juntas de dilatação	<p>2 → perda de elasticidade do material da junta; início de fissuras paralelas às juntas nas lajes e paredes adjacentes.</p> <p>3 → presença de material não compressível na junta; incidência significativa de fissuras paralelas às juntas nas lajes e paredes adjacentes.</p> <p>4 → fissuras em lajes e paredes adjacentes às juntas, com prolongamento em vigas e/ou pilares de suporte.</p>
Recalques	<p>2 → indícios de recalque pelas características das trincas na alvenaria;</p> <p>3 → recalque estabilizado com fissuras em peças estruturais.</p> <p>4 → recalque não estabilizado com fissuras em peças estruturais.</p>
Sinais de esmagamento do concreto	<p>3 → desintegração do concreto na extremidade superior do pilar, causada por sobrecarga ou movimentação da estrutura; fissuras diagonais isoladas.</p> <p>4 → fissuras bi-diagonais, com lascamento e/ou esmagamento do concreto por cisalhamento-compressão, com perda substancial de material; exposição e início de flambagem de armaduras.</p>

Tabela B.1: Famílias de elementos estruturais e fatores de ponderação (F_p)
PILARES

Nome do Elemento →				
Local →				
Danos	F_p	F_i	D	Croquis/Observações
Carbonatação do concreto	3			
Cobrimento deficiente	3			
Contaminação por cloretos	4			
Corrosão de armaduras	5			
Desagregação	3			
Desplacamento	3			
Desvio de geometria	4			
Eflorescência	2			
Falha de concretagem	3			
Fissuras	2 a 5*			
Manchas	3			
Recalque	5			
Sinais de esmagamento	5			
Umidade excessiva na infraestrutura	4			

* Consultar Tabelas C

VIGAS E TRANSVERSINAS

Nome do elemento →				
Local →				
Danos	F_p	F_i	D	Croquis/Observações
Carbonatação do concreto	3			
Cobrimento deficiente	3			
Contaminação por cloretos	4			
Corrosão de armaduras	5			
Desagregação	3			
Desplacamento	3			
Eflorescência	2			
Fissuras	2 a 5*			
Falhas de concretagem	2			
Flechas	5			
Infiltração de água	3			
Manchas	3			
Sinais de esmagamento	5			

* Consultar Tabelas C

Tabela B.2: Famílias de elementos estruturais e fatores de ponderação (F_p)

LAJES

Nome do elemento →				
Local →				
Danos	F_p	F_i	D	Croquis/Observações
Carbonatação do concreto	3			
Cobrimento deficiente	3			
Contaminação por cloretos	3			
Corrosão de armaduras	5			
Desagregação	3			
Desplacamento	3			
Eflorescência	2			
Falhas de concretagem	2			
Fissuras	2 a 5*			
Flechas	5			
Infiltração de água	3			
Manchas	3			

* Consultar Tabelas C

GUARDA-CORPOS, BARREIRAS, GUARDA-RODAS

Nome do elemento →				
Local →				
Danos	F_p	F_i	D	Croquis/Observações
Carbonatação do concreto	3			
Cobrimento deficiente	3			
Contaminação por cloretos	4			
Corrosão de armaduras	5			
Desagregação	3			
Desplacamento	3			
Eflorescência	2			
Falha de concretagem	2			
Fissuras	2 a 5*			
Manchas	3			
Sinais de esmagamento	4			

* Consultar Tabelas C

Tabela B.3: Famílias de elementos estruturais e fatores de ponderação (F_p)
CORTINAS, ALAS

Nome do elemento →				
Local →				
Danos	F_p	F_i	D	Croquis/Observações
Carbonatação do concreto	3			
Cobrimento deficiente	3			
Contaminação por cloretos	4			
Corrosão de armaduras	5			
Desagregação	3			
Deslocamento por empuxo	5			
Desplacamento	3			
Desvio de geometria	3			
Eflorescência	2			
Falha de concretagem	2			
Fissuras	2 a 5*			
Infiltração de água	3			
Manchas	3			
Sinais de esmagamento	5			

* Consultar Tabelas C

BLOCOS DE FUNDAÇÃO

Nome do elemento →				
Local →				
Danos	F_p	F_i	D	Croquis/Observações
Carbonatação do concreto	3			
Cobrimento deficiente	3			
Contaminação por cloretos	4			
Corrosão de armaduras	5			
Desagregação	3			
Desplacamento	3			
Eflorescência	2			
Falha de concretagem	3			
Fissuras	2 a 5*			
Recalque	5			
Sinais de esmagamento	5			
Umidade excessiva na infra-estrutura	3			

* Consultar Tabelas C

**Tabela B.4: Famílias de elementos estruturais e fatores de ponderação (F_p)****JUNTAS DE DILATAÇÃO**

Nome do elemento →				
Local →				
Danos	F_p	F_i	D	Croquis/Observações
Obstrução de junta	5			
Desgaste do material de preenchimento da junta	5			
Umidade	5			

PISTA DE ROLAMENTO

Nome do elemento →				
Local →				
Danos	F_p	F_i	D	Croquis/Observações
Descontinuidade	5			
Desgaste superficial	5			
Desgaste da sinalização	5			

Tabela C.1: Classificação de fissuras em elementos de concreto armado e fatores de ponderação indicados (F_p)

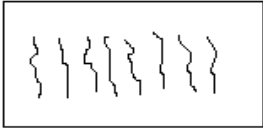
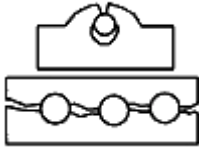

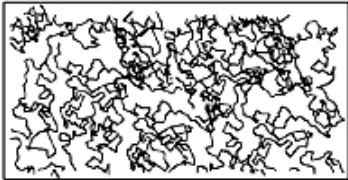
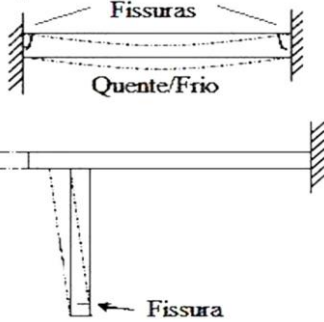
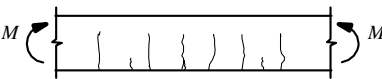
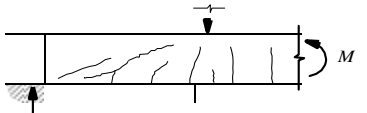
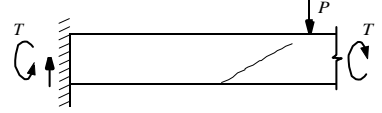
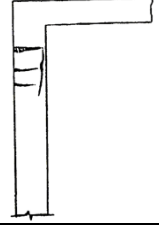
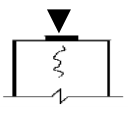
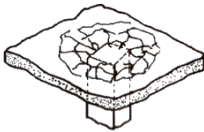
	Fissuras*	Descrição	Croquis	F_p
ESTADO PLÁSTICO	De retração plástica do concreto	<ul style="list-style-type: none"> - comuns em lajes e paredes. - aproximadamente paralelas, superficiais e afastadas entre si de 0,3 a 1 m. 		2
	De assentamento do concreto	<ul style="list-style-type: none"> - sobre as armaduras. - em pilares, ficam abaixo dos estribos. - interagem com armaduras vizinhas. 		3
	De movimentação de fôrmas	<ul style="list-style-type: none"> - indicam posicionamento e/ou fixação incorretos ou resistência insuficiente de fôrmas/escoramentos 		3
ESTADO	De retração do concreto por secagem	<ul style="list-style-type: none"> - fissuras em pilares e/ou vigas, por diferença grande de rigidezes (a). - aspecto de mosaico em lajes e paredes, podendo aparecer em ambas as faces (b). - indicam restrição de movimentos. - profundidade reduzida. - aberturas < 0,1 a 0,2 mm. 	<p>(a)</p>  <p>(b)</p>	3
	Mapeadas	<ul style="list-style-type: none"> - mais visíveis em superfícies lisas de lajes e paredes. - abertura e extensão reduzidas. - superfícies de concreto com desempenho excessivo. - danos só estéticos, em geral 		2
	De variações de temperatura	<ul style="list-style-type: none"> - em geral, normais ao eixo de elementos lineares, - indicam restrição de movimento por mau funcionamento de juntas de dilatação ou sua ausência. 		3

Tabela C.2: Classificação de fissuras em elementos de concreto armado e fatores de ponderação indicados (F_p)

	Fissuras*	Descrição	Croquis	F_p
ERROS DE PROJETO/ EXECUÇÃO OU CARGAS EXCESSIVAS	De flexão	- normais ao eixo, em trechos de momento fletor elevado e com boa aderência aço-concreto.		4
	De força cortante e flexão	- mesma inclinação nas duas faces. - podem entrar na zona de compressão e se dirigir aos apoios.		4
	De flexão, cortante e torção	- inclinações diferentes nas faces laterais, com menor abertura da fissura em uma das faces.		4
	De flexo-tração em pilares	- normais ao eixo do pilar na face tracionada e paralelas na face comprimida: podem indicar esmagamento do concreto. - mais próximas de extremidades com maior momento.		5
	De compressão	- paralelas ao eixo ou bi-digonais no centro iminência de ruptura. - indicam espaçamento excessivo ou deslocamento de estribos.		5
	De carga concentrada em área reduzida	- em apoios de pontes, estruturas pré-moldadas e apoios indiretos - indicam armadura deficiente de fretagem e mau detalhamento		3
	Em apoios do tipo Gerber (vigas e pilares)	- comuns em pontes e estruturas pré-moldadas. - indicam deficiência ao movimento em aparelhos de apoio e/ou detalhamento inadequado.		3
	De flexão em lajes	- na face inferior, saindo dos cantos e paralelas a bordos com continuidade ou vãos maiores. - na face superior, paralelas a bordos com continuidade.		4
	De momentos volventes	- em cantos de lajes extremas, podendo surgir nas duas faces. - influenciadas por variações de temperatura e retração.		3



	Fissuras*	Descrição	Croquis	F_p
	De punção	- traçado circunferencial e/ou radial em torno do pilar.		5



ANEXO 3

Fotos ilustrativas de danos em estruturas de concreto e fatores de intensidade sugeridos

FATORES DE INTENSIDADE (F_i) SUGERIDOS



Figura 1: corrosão de armadura ($F_i = 2$)



Figura 2: corrosão de armadura ($F_i = 3$)



Figura 3: corrosão de armadura ($F_i = 4$)



Figura 4: desagregação ($F_i = 2$)



Figura 5: deslocamento ($F_i = 2$)



Figura 6: deslocamento ($F_i = 3$)



Figura 7: deslocamento ($F_i = 4$)



Figura 8: eflorescência ($F_i = 2$)



Figura 9: eflorescência ($F_i = 3$)



Figura 10: eflorescência ($F_i = 4$)



Figura 11: falha de concretagem ($F_i = 1$)



Figura 12: falha de concretagem ($F_i = 2$)



Figura 13: falha de concretagem ($F_i = 3$)



Figura 14: falha de concretagem ($F_i = 3$)



Figura 15: falha de concretagem ($F_i = 4$)



Figura 16: manchas ($F_i = 2$)



Figura 17: manchas ($F_i = 3$)



Figura 18: manchas ($F_i = 4$)



Figura 19: sinais de esmagamento do concreto ($F_i = 3$)



Figura 20: sinais de esmagamento do concreto ($F_i = 4$)



Figura 21: flecha ($F_i = 4$)



Figura 22: recalque ($F_i = 4$)



ANEXO 4

Sugestão para ficha descritiva da Obra de Arte Especial



FICHA DESCRITIVA DA OBRA DE ARTE ESPECIAL

Dados básicos			
Nome da OAE:			Data da inspeção: ____/____/____
Cidade mais próxima:			UF: _____
Coordenadas GPS:	Altitude (m):	Latitude (S) (°)	Longitude (W) (°)
Localização (km):			
Natureza da transposição: <input type="checkbox"/> Ponte <input type="checkbox"/> Viaduto sobre rodovia <input type="checkbox"/> Viaduto sobre ferrovia <input type="checkbox"/> Passagem Inferior			
Sistema construtivo: <input type="checkbox"/> Moldado no local <input type="checkbox"/> Pré-moldado <input type="checkbox"/> Balanços sucessivos <input type="checkbox"/> Outro _____			
Comprimento (m):		Largura (m):	
Classe de Agressividade Ambiental (NBR 6118:2014): <input type="checkbox"/> I <input type="checkbox"/> II <input type="checkbox"/> III <input type="checkbox"/> IV			
Projetista:			
Construtor:			
Ano da construção:			
Características da região: <input type="checkbox"/> Plana <input type="checkbox"/> Ondulada <input type="checkbox"/> Montanhosa			
Traçado: <input type="checkbox"/> Tangente <input type="checkbox"/> Curvo			
Características dos vãos:			
Número de vãos: _____	Descrição dos vãos:		
Responsável pela inspeção:			
Nome:			
Formação:			
Empresa:			